

東海第二発電所 特別点検  
(コンクリート構造物)

補足説明資料

平成 30 年 1 月 11 日  
日本原子力発電株式会社

本資料のうち、枠囲みの範囲は、商業機密  
あるいは防護上の観点から公開できません。

# 目次

1. はじめに	1
2. 要求事項	1
3. 点検方法	1
4. 点検箇所	10
5. 点検結果	28
6. まとめ	32

## 別紙 1～7

別紙 1. アルカリ骨材反応に関する特別点検方法の選定の考え方	34
別紙 2. 遮蔽能力における非破壊試験位置	38
別紙 3. 空気環境測定位置	41
別紙 4. 中性化における非破壊試験実施位置	51
別紙 5. 塩分量測定位置	58
別紙 6. 特別点検実施位置	62
別紙 7. 塩分量測定の考え方	72

## 1. はじめに

本資料は、東海第二で実施したコンクリート構造物の特別点検について、実施した内容を取りまとめたものである。

## 2. 要求事項

対象の機器・構造物、その対象の部位、着目する劣化事象及び点検方法は、「実用発電用原子炉の運転期間延長認可申請に係る運用ガイド」（以下、運用ガイドという）に定められている。

表 2-1 要求事項の概要<sup>1)</sup>

対象の構造物	対象の部位	着目する劣化事象	点検方法／点検項目
安全機能を有するコンクリート構造物並びに安全機能を有する系統及び機器を支持するコンクリート構造物	コンクリート	強度低下及び遮蔽能力低下	採取したコアサンプル等による強度、遮蔽能力、中性化、塩分浸透及びアルカリ骨材反応の確認
常設重大事故等対処設備に属するコンクリート構造物及び常設重大事故等対処設備に属する機器を支持するコンクリート構造物			

## 3. 点検方法

### 3. 1 点検方法の概要

#### 3. 1. 1 点検の概要

コンクリート構造物は、強度低下及び遮蔽能力低下の観点で、これまでに高経年化技術評価において様々な劣化事象に対する技術評価を行い、その健全性を確認してきた。高経年化技術評価においては、劣化事象毎に最も厳しい使用条件等にあるコンクリート構造物を代表構造物として選定し、その中でも最も条件が厳しい箇所を評価点として技術評価を行い、健全性を確認した上で、その他のコンクリート構造物にも、使用条件等が代表構造物に内包されていることを踏まえて評価結果を展開している。また、この技術評価においては、評価の入力値となる中性化や塩分浸透、強度を確認するためのコアサンプルによる点検を実施している。

今回の特別点検では、これまで高経年化技術評価においてコアサンプルによる確認がなされていない範囲についても、点検を実施した。

#### 3. 1. 2 点検項目の詳細

運用ガイドにおいては、“この確認においては、この組合せ毎に、対象の部位の中で点検項目に照らして使用材料及び使用環境条件が最も厳しくなる場所から採取したコアサンプルによる確認をもって、当該組合せに係る確認を行ったものとする事ができる”との記載がある。この記載を踏まえ、点検項目に照らして適切な点検方法及び点検箇所（コアサンプル採取箇所）を選定することとした。

表 3. 1. 2-1 沸騰水型軽水炉の点検箇所<sup>1)</sup>

対象のコンクリート構造物	対象の部位	点検項目				
		強度	遮蔽能力*1	中性化深さ*2	塩分浸透*2,3	アルカリ骨材反応
原子炉建屋等	外壁	○	○	○	○	○
	内壁及び床	○	○	○	—	○
	原子炉圧力容器ベDESTAL又はこれに準ずる部位	○	—	○	—	○
	一次遮蔽壁	○	○	○	—	○
	格納容器底部基礎マット	○	—	○	—	○
	格納容器底部外基礎マット	○	—	○	—	○
	使用済み燃料プール	○	—	○	—	○
	ダイヤフラムフロア	○	—	○	—	○
原子炉建屋以外の建屋 (中央制御室が設置されているものに限る。)	外壁	○	○	○	○	○
	内壁及び床	○	○	○	—	○
	基礎マット	○	—	○	—	○
タービン建屋	外壁	○	○	○	○	○
	内壁及び床	○	○	○	—	○
	基礎マット	○	—	○	—	○
取水槽	海中帯	○	—	○	○	○
	干満帯	○	—	○	○	○
	気中帯	○	—	○	○	○
安全機能を有する系統及び機器又は常設重大事故等対処設備に属する機器を支持する構造物	原子炉建屋内	—	○	—	○	—
	原子炉建屋以外の建屋内 (中央制御室が設置されているものに限る。)	—	○	—	○	—
	タービン建屋内 (タービン架台を含む。)	—	○	—	○	—
上記以外の構造物(安全機能を有する構造物又は常設重大事故等対処設備に属する構造物・安全機能を有する系統及び機器又は常設重大事故等対処設備に属する機器を支持する構造物に限る。)	—	○	○	○	○	○

\* 1: 工事計画認可申請書において、遮蔽能力(乾燥単位容積質量)が記載されている範囲について確認する。

\* 2: コアサンプルによる確認と同等の方法(ドリル法等)によることもできる。また、中性化深さを確認する場所は、塗装等のコンクリート表面被覆のない場所を選定する。

\* 3: 海塩粒子の付着等によって塩分浸透の可能性がある場所(海風の直接当たる外壁等)及び取水構造物について確認する。

### 3. 2 点検方法の選定

#### 3. 2. 1 点検方法選定の考え方

運用ガイドにおいては、点検項目は明示されているがその具体的な方法については記載がないことから、点検項目毎に、以下の順序で点検方法を選定した。

- ①点検項目に適した JIS 規格及び各種学会規格がある。
- ②JIS 規格及び各種学会規格を一部変更する場合、変更箇所の妥当性を適切に評価する。
- ③点検項目に適した規格が存在しない場合、最新の知見を踏まえた最適な方法を検討する。

#### 3. 2. 2 選定した点検方法

選定した点検方法を表 3. 2. 2-1 に示す。

表 3. 2. 2-1 選定した点検方法

点検項目	点検方法	適用	備考
強度	JIS A 1108 コンクリートの圧縮強度試験方法	①	
遮蔽能力	JASS 5N T-601 コンクリートの乾燥単位容積質量試験方法に準じた方法	②	適用範囲を変更 (コアサンプルに適用)
中性化 深さ	JIS A 1152 コンクリートの中性化深さの測定方法	①	
塩分浸透	JIS A 1154 硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法	①	
アルカリ 骨材反応	「原子力用コンクリートの反応性骨材の評価方法の提案 (JNES-RE-2013-2050)」に基づく方法	③	最新知見 (原子力用コンクリートの反応性骨材の評価方法の提案 (JNES-RE-2013-2050), ASR 診断の現状とあるべき姿研究委員会報告書 (JCI)) を参照

このうち、適用が②、③であり、方法が規格化されていない遮蔽能力とアルカリ骨材反応の点検方法について、その妥当性を説明する。

### 3. 2. 3 遮蔽能力の点検方法の妥当性

遮蔽能力の点検方法として、日本建築学会 建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5N 原子力発電所施設における鉄筋コンクリート工事建築工事標準仕様書（以下、「JASS 5N」という）にコンクリートの乾燥単位容積質量試験方法（以下、「JASS 5N T-601」という）が定められている。この試験方法はテストピースを対象としているが、既往の研究<sup>2)</sup>において、規格の適用範囲であるテストピースとコア供試体で同様の乾燥単位容積質量が得られると報告されている。そのため、点検方法として、JASS 5N T-601 を用いることは妥当であると判断した。

### 3. 2. 4 アルカリ骨材反応の点検方法の妥当性

アルカリ骨材反応の状況を確認するための各種規格類を調査した結果、適した JIS 及び学会規格が存在しないことが分かった。そのため、最新知見のひとつである「原子力用コンクリートの反応性骨材の評価方法の提案（JNES-RE-2013-2050，平成 26 年 2 月）」等を参照し、点検方法を検討することとした。

最新知見においては、コンクリートの岩石学的診断法が複数紹介されている。その中から、東海第二は運転開始から約 40 年間に於いて、アルカリ骨材反応に起因すると判断されるひび割れ等は認められていない等、コンクリートの健全性に影響を与えるようなアルカリ骨材反応がこれまで発生していないこと、また広範囲において点検が必要なことを踏まえ、「実体顕微鏡観察」を点検方法として選定した。

表 3. 2. 4-1 岩石学的診断法 (国内) <sup>3)</sup>

試験方法			長所	課題	
骨材	総プロ法 (旧建設省)	目視観察	コンクリートより取り出した骨材・コアのスライス片	簡便	岩種判定が目的・切断により、ゲルが見えにくくなる
		偏光顕微鏡観察	薄片 (主にコンクリートより取り出した粗骨材)	やや簡便	粗骨材中の有害鉱物の含有状況の判定が目的。細骨材は対象外。セメントペーストのひび割れの進展状況を観察せず
		X線回折分析	コンクリートから取り出した粗骨材	簡便	オパール・ガラスは検出できない
	JCI-DD3	偏光顕微鏡観察	薄片 (未使用骨材)	やや簡便	コンクリート中の骨材の反応状況は観察の対象外
		X線回折分析	未使用骨材	簡便	反応性鉱物をリストアップしているが、内容が不正確
コンクリート	総プロ法 (旧建設省)		ゲルの確認 (掻き取った試料)	簡便	試料採取位置が記録されず
		湿式化学分析	水溶性アルカリの測定	やや簡便	水溶性アルカリをすべてセメント由来とみなす。そのため、セメントのアルカリ量を過大に評価する
	NEXCO 西日本 (九州) 福永ら (2007)	実体顕微鏡観察	ゲルの検出 (コア外周・破断面)	簡便	岩種の詳細は分からない
		岩種構成定量	粗骨材 (展開写真)	やや簡便	展開カメラは市販されていない
			細骨材 (薄片)	正確	測定に熟練・時間を要する
	Katayama et al (2008)	偏光顕微鏡観察	反応・ひびの進展状況確認 (薄片)	正確	薄片作製・観察に熟練を要する
		SEM*観察	ゲルの検出 (鏡面研磨薄片)	正確	観察に熟練を要する
EPMA分析・EDS分析**		ゲルの組成分析 (鏡面研磨薄片)	正確	観察・分析に熟練・時間を要する	
	未水和セメントのアルカリ分析 (鏡面研磨薄片)	正確	観察・分析に熟練・時間を要する		

\* SEM : 走査電子顕微鏡

\*\* EPMA : 電子線プローブ・マイクロアナライザー

\*\*\* EDS : エネルギー分散型スペクトル分析装置

また、実体顕微鏡での点検に際し、アルカリ骨材反応の発生状況を適切に評価できる点検帳票及びデグリー表等を作成し、それに基づき点検を行うこととした。



表 3. 2. 4-2 アルカリ骨材反応の点検記録帳票

コアサンプル実体顕微鏡観察 記録用紙

発電所名		コア番号	
構造物名		コア採取日	
点検部位		試験実施日	
試験実施者		備考	
確認箇所 写真			
骨材の種類	粗骨材		細骨材
アルカリ 骨材反応の 発生状況			
判定		コ メ ン ト	<凡例> 1. 反応性なし 2. 反応性あり

表 3. 2. 4-3 アルカリ骨材反応評価用デグリー表

--	--

アルカリ骨材反応の点検結果は点検記録帳票のとおり、確認されたアルカリ骨材反応の状況を踏まえ、「反応性なし」「反応性あり」のどちらかに分類する。

アルカリ骨材反応は、まず、セメントに含まれるアルカリ分に由来するアルカリ溶液が、骨材が有する反応性シリカ分と反応し、水和アルカリシリケート（水ガラス）層と呼ばれる層を作る。その水ガラス層は、コンクリート中のカルシウムイオンと反応し、硬いカルシウムシリケート層となる。これを反応リムと呼び、骨材の外周部にできる。

アルカリ溶液は、骨材外周部の反応リムを通過して骨材内部に浸透し、骨材が有する反応性シリカ分と継続して反応していくが、その反応によって生じた水ガラスは、反応リムがせき止める形となり、骨材の外側へ出て行くことが難しくなるため、反応が進めば進むほど体積が膨張し、膨張圧が骨材内部に生じ、一部の反応生成物（ゲル）がセメントペースト部ににじむ程度に出て行く。この膨張圧が限界を超えると、骨材にひび割れが生じる。

この状態が進展すると、ひび割れが骨材だけに収まらず、セメントペースト部分まで拡大し、ひび割れ部にゲルが充填されてくる（図 3. 2. 4-1 参照）。更に反応が進展していくと、セメントペースト部に元々存在する気泡部にまでゲルが充填されていき、その状況が顕著に見られるようになると、構造物の目視点検においても、ひび割れが確認できるようになってくる（図 3. 2. 4-2 参照）。ひび割れの発生は、膨張に対する拘束状態により異なり、拘束の小さな無筋コンクリート構造物等では亀甲状のひび割れが生じ、鉄筋コンクリート構造物では主筋方向に、部材両端が強く拘束されている構造物では拘束されている面に直角にひび割れが生じる。アルカリ骨材反応によるひび割れは部材内部まで達していないことが多い。

アルカリ骨材反応は極めて軽微なものを含めると、ほとんどのコンクリートで発生するものであるため、点検においては、上述するアルカリ骨材反応の進行状況や発生の程度を的確に観察、分類し、実構造物の状況やコアサンプル全体の目視観察等を踏まえ、コンクリートの健全性に影響を与える劣化であるかどうか、という観点で「反応性なし」「反応性あり」の判定を行う。

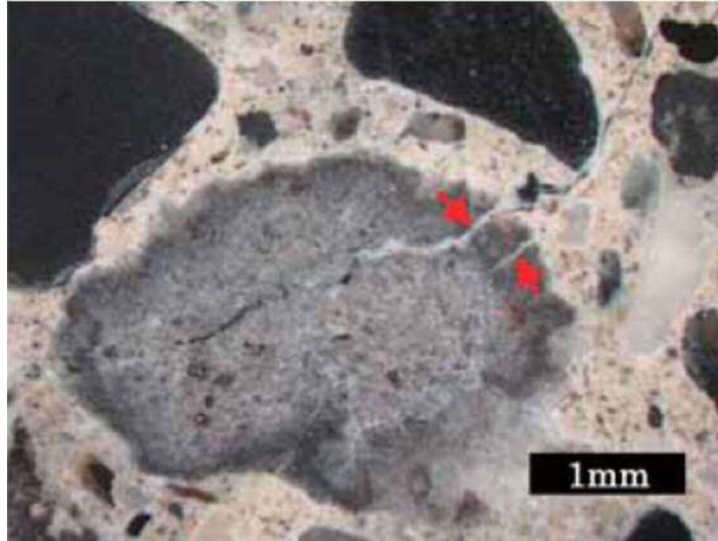


図 3. 2. 4-1 実体顕微鏡観察での膨張ひび割れの確認事例<sup>4)</sup>



図 3. 2. 4-2 実構造物における膨張ひび割れ（亀甲状）の事例<sup>5)</sup>

### 3. 3 試験員の力量

特別点検を実施する試験員については、特別点検要領書で定めたとおり、建築士、技術士、施工管理技士、コンクリート主任技士、コンクリート技士及びコンクリート診断士や、試験業務に関する十分な経験を有する等、コンクリートに関する技術を有する者が従事している。

## 4. 点検箇所

### 4. 1 選定プロセス

#### 4. 1. 1 基本的な考え方

運用ガイドにおいて“この確認においては、この組合せ毎に、対象の部位の中で点検項目に照らして使用材料及び使用環境条件が最も厳しくなる場所から採取したコアサンプルによる確認をもって、当該組合せに係る確認を行ったものとする事ができる”と記載されていることを踏まえ、点検項目毎に、点検項目に対する劣化メカニズムや影響要素等を踏まえ、コアサンプルが採取可能な部位で、使用材料及び使用環境条件が最も厳しくなる場所を選定した。

#### 4. 1. 2 遮蔽能力の点検箇所選定プロセス

運用ガイドに基づき、対象の部位の中で、遮蔽能力の点検に照らして使用材料及び使用環境条件が最も厳しくなる場所を選定した。

具体的には、遮蔽能力はコンクリートの密度（単位容積質量）に影響を受け、密度は、使用材料の密度や、コンクリート中の水分を逸散させるような熱等の使用環境の影響を受ける。今回、より保守的な点検方法としてコンクリートの乾燥単位容積質量を確認する方法を選定したことから、熱等の、コンクリート中の水分を逸散させるような使用環境の影響がほぼなくなる。そこで、建設時に乾燥単位容積質量試験を実施している部位については、その結果が最も小さかった箇所をコアサンプル採取箇所として選定した。一方で、建設時に乾燥単位容積質量試験を実施していない部位については、規格の範囲内での使用骨材のわずかな密度の違いに着目し、建設時の記録に基づき、対象の部位の範囲の中で、計算上、コンクリート密度が最も小さいと想定される箇所をコアサンプル採取箇所として選定した。

これに加え、より水和が進展している箇所、すなわち強度が増進している箇所は、コンクリート中の自由水がより多く結合水に変化していると想定される。乾燥単位容積質量の試験は、コンクリート中の自由水を強制的に蒸発させる方法であるため、水和が進展している箇所は、乾燥単位容積質量が相対的に大きいことが想定される。そのため、記録により選定した部位の中でコアサンプル採取可能な箇所が広範囲の場合、具体的な採取位置を選定するために、リバウンドハンマーによる非破壊試験によりコンクリート強度を推定するための反発度を確認し、最も反発度が低い箇所、すなわち水和が進展しておらず、乾燥単位容積質量が相対的に小さいと想定される箇所をコアサンプル採取位置に選定した。

表 4. 1. 2-1 建設時の乾燥単位容積質量試験結果（原子炉建屋等 一次遮蔽壁）

打設日	平均乾燥単位 容積質量 [t/m <sup>3</sup> ]	コアサンプル 採取箇所	備考
1974. 2. 10	2. 259		
1974. 3. 8	2. 256		
1974. 4. 11	2. 266		
1974. 4. 23	2. 264		
1974. 5. 21	2. 249		
1974. 5. 25	2. 278		
1974. 6. 6	2. 254		
1974. 6. 23	2. 271		
1974. 6. 27	2. 251		
1974. 6. 29	2. 259		
1974. 6. 30	2. 252		
1974. 9. 25	2. 289		
1974. 10. 7	2. 262		
1975. 1. 31	2. 247		コアサンプル採取不可
1975. 3. 5	2. 248	○	
1975. 3. 18	2. 277		
1975. 4. 4	2. 286		
1975. 4. 15	2. 283		
1975. 4. 26	2. 296		
1975. 5. 26	2. 292		
1975. 6. 8	2. 299		
1975. 6. 21	2. 282		
1975. 7. 8	2. 294		
1975. 9. 16	2. 286		
1975. 10. 1	2. 290		
1975. 11. 14	2. 298		
1975. 11. 18	2. 286		

表 4. 1. 2-2 建設時の乾燥単位容積質量試験結果（使用済燃料乾式貯蔵建屋）

打設日	平均乾燥単位 容積質量 [t/m <sup>3</sup> ]	コアサンプル 採取箇所	備考
2000.5.24	2.263		
2000.5.22	2.254	○	
2000.6.15	2.255		
2000.6.8	2.275		
2000.7.1	2.266		

表 4. 1. 2-3 コンクリート密度の計算結果 (原子炉建屋等 外壁)

打設日			材料密度 [g/cm <sup>3</sup> ]			コアサンプル 採取箇所
年	月	日	細骨材	粗骨材	セメント	
S48	12	4	2.60	2.59	2.95	
S49	1	24	2.61	2.61	2.95	
S48	12	1	2.59	2.59	2.95	
S49	1	29	2.61	2.60	2.95	
S49	1	29	2.61	2.60	2.95	
S49	2	2	2.61	2.60	2.95	
S49	2	6	2.61	2.60	2.95	
S48	12	12	2.60	2.59	2.95	
S49	3	16	2.60	2.61	2.95	
S48	12	23	2.60	2.59	2.95	
S49	3	18	2.60	2.61	2.95	
S49	3	13	2.60	2.61	2.95	
S49	3	15	2.60	2.61	2.95	
S49	3	12	2.60	2.61	2.95	
S49	3	14	2.60	2.61	2.95	
S48	12	23	2.60	2.59	2.95	
S49	5	23	2.62	2.61	2.95	
S49	4	17	2.61	2.60	2.95	
S49	4	14	2.61	2.60	2.95	
S49	4	18	2.61	2.60	2.95	
S49	4	22	2.61	2.60	2.95	
S49	5	16	2.62	2.61	2.95	
S49	6	23	2.62	2.62	2.95	
S49	6	6	2.62	2.61	2.95	
S49	5	25	2.62	2.61	2.95	
S49	5	21	2.62	2.61	2.95	
S49	6	30	2.62	2.62	2.95	
S49	6	27	2.62	2.62	2.95	
S49	6	29	2.62	2.62	2.95	
S49	1	23	2.61	2.61	2.95	
S49	7	2	2.62	2.62	2.95	
S49	7	27	2.61	2.61	2.95	
S49	9	13	2.61	2.61	2.95	
S49	7	29	2.61	2.61	2.95	
S49	6	26	2.62	2.62	2.95	
S49	6	24	2.62	2.62	2.95	
S49	9	13	2.61	2.61	2.95	
S49	8	12	2.61	2.60	2.95	
S49	8	13	2.61	2.60	2.95	
S49	11	12	2.61	2.60	2.95	
S49	2	12	2.61	2.60	2.95	
S49	8	10	2.61	2.60	2.95	
S49	8	6	2.61	2.60	2.95	
S49	9	23	2.61	2.61	2.95	
S49	9	30	2.61	2.61	2.95	
S49	9	20	2.61	2.61	2.95	
S49	10	30	2.61	2.61	2.95	
S49	11	14	2.61	2.61	2.95	
S49	10	11	2.61	2.61	2.95	
S49	10	21	2.61	2.61	2.95	
S49	11	25	2.61	2.61	2.95	
S49	11	26	2.61	2.61	2.95	
S49	12	2	2.61	2.61	2.95	
S49	12	3	2.61	2.61	2.95	
S49	12	20	2.61	2.61	2.95	
S49	12	23	2.61	2.60	2.95	
S49	12	26	2.61	2.60	2.95	
S49	12	26	2.61	2.60	2.95	
S49	12	23	2.61	2.60	2.95	
S50	1	16	2.61	2.60	2.95	
S49	12	24	2.61	2.60	2.95	
S50	1	14	2.61	2.60	2.95	
S50	1	28	2.61	2.61	2.95	
S50	2	12	2.61	2.61	2.95	
S50	1	27	2.61	2.61	2.95	
S50	2	5	2.61	2.61	2.95	
S50	3	8	2.61	2.61	2.96	
S50	3	14	2.62	2.61	2.96	
S50	2	15	2.61	2.60	2.95	
S50	3	26	2.61	2.60	2.96	
S50	3	31	2.61	2.60	2.96	
S50	3	29	2.61	2.60	2.96	
S50	4	5	2.61	2.60	2.96	
S50	4	18	2.62	2.60	2.96	
S50	5	7	2.61	2.60	2.95	
S50	4	30	2.61	2.60	2.95	
S50	5	22	2.62	2.60	2.95	
S50	5	22	2.62	2.60	2.95	
S50	5	27	2.61	2.61	2.95	
S50	5	24	2.62	2.61	2.95	
S50	6	11	2.62	2.60	2.96	
S50	10	14	2.62	2.62	2.95	
S50	9	16	2.62	2.61	2.95	
S50	6	19	2.62	2.60	2.96	
S50	7	1	2.62	2.61	2.95	
S50	10	14	2.62	2.62	2.95	
S50	10	1	2.61	2.62	2.96	
S50	10	25	2.62	2.62	2.95	
S50	11	18	2.61	2.62	2.96	
S50	12	13	2.61	2.62	2.95	
S50	11	14	2.61	2.62	2.96	



表 4. 1. 2-4 東海第二 非破壊試験による選定結果（遮蔽能力）

対象のコンクリート 構造物	対象の部位	測定 番号	平均 反発度	コアサンプル 採取箇所
原子炉建屋等	外壁	No. 1	55	○
		No. 2	58	
		No. 3	57	
上記以外の構造物(安全機能を有する構造物又は常設重大事故等対処設備に属する構造物・安全機能を有する系統及び機器又は常設重大事故等対処設備に属する機器を支持する構造物に限る。)	使用済燃料 乾式貯蔵建屋	No. 1	44	○*
		No. 2	44	
		No. 3	53	

※同率順位であったため、小数点以下第1位までの値で判断

#### 4. 1. 3 中性化の点検箇所選定プロセス

運用ガイドに基づき、対象の部位の中で、中性化深さの点検に照らして使用材料及び使用環境条件が最も厳しくなる場所を選定した。

中性化はコンクリートの強度や二酸化炭素、温度及び湿度の影響を受ける。コンクリート強度は主に使用材料の影響を受けるが、対象の部位の範囲においては使用材料に大きな違いがない。一方で、二酸化炭素濃度や温湿度の使用環境については、対象の部位の範囲において大きく異なることから、使用環境条件が最も厳しくなる箇所を選定することとした。

建屋内（建屋の屋外箇所を含む）においては、まず二酸化炭素濃度、温度及び湿度を測定し、測定した値等が入力値となる森永式<sup>6)</sup>を引用して、環境条件による係数を算出した。その算出結果から、各環境条件の総合的な影響度が大きい箇所を、対象の部位毎に選定した。選定に際しては、仕上げがない箇所を選定すること（対象範囲すべてに仕上げがある場合は除く）とした。これに加え、中性化はコンクリート強度の影響を受けるため、影響度により選定した部位の中でコアサンプル採取可能な箇所が広範囲の場合、具体的な採取位置を選定するために、リバウンドハンマーによる非破壊試験によりコンクリート強度を推定するための反発度を確認し、最も反発度が低い箇所をコアサンプル採取位置に選定した。

表 4. 1. 3-1 東海第二 対象の部位毎の環境条件による係数の算出結果

対象のコンクリート構造物	対象の部位	測定結果 <sup>※1</sup>			環境条件による影響度 <sup>※1, 2</sup>	備考
		温度 (°C)	湿度 (%)	二酸化炭素濃度 (ppm)		
原子炉建屋等	外壁	22.4	43.8	491	0.253	
	内壁及び床	32.9	26.8	517	0.377	
	一次遮蔽壁	21.4	47.4	489	0.233	
	格納容器底部外基礎マット	22.2	44.4	503	0.252	塗装あり
	使用済み燃料プール	20.1	51.5	472	0.208	塗装あり
タービン建屋	外壁	19.7	51.5	472	0.206	
	内壁及び床	19.7	51.5	472	0.206	
	基礎マット	19.7	51.5	472	0.206	塗装あり
安全機能を有する系統及び機器又は常設重大事故等対策設備に属する機器を支持する構造物	タービン架台	18.5	55.0	455	0.184	塗装あり

測定期間：平成 28 年 2 月 17 日～平成 29 年 2 月 16 日

※1 対象の部位毎に影響度が最も大きくなったものを示す

※2 森永式における環境条件による係数（下記赤部）から算出

$$x = \sqrt{C} \cdot (1.391 - 0.017 \cdot RH + 0.022 \cdot T) \cdot \frac{1}{\sqrt{5}} \cdot 2.44 \cdot R \cdot (4.6 \cdot w/c - 1.76) \cdot \sqrt{t}$$

$x$ ：中性化深さ (mm)

$T$ ：温度 (°C)

$t$ ：材齢 (日)

$C$ ：炭酸ガス濃度 (%) (1%=10,000ppm)

$RH$ ：湿度 (%)

$w/c$ ：水セメント比 (%÷100)

$R$ ：中性化比率

表 4. 1. 3-2 東海第二 非破壊試験による選定結果（中性化）

対象のコンクリート 構造物	対象の部位	測定 番号	平均 反発度	コアサンプル 採取箇所
原子炉建屋等	内壁及び床	No. 1	55	
		No. 2	55	
		No. 3	54	○
	一次遮蔽壁	No. 1	52	○
		No. 2	58	
		No. 3	57	
タービン建屋	外壁	No. 1	50	○
		No. 2	55	
		No. 3	51	
取水槽	気中帯	No. 1	52	
		No. 2	54	
		No. 3	57	
		No. 4	51	○
		No. 5	59	
上記以外の構造物 （安全機能を有する 構造物又は常設重大 事故等対処設備に属 する構造物・安全機 能を有する系統及び 機器又は常設重大事 故等対処設備に属す る機器を支持する構 造物に限る。）	使用済燃料 乾式貯蔵建屋	No. 1	44	○
		No. 2	53	
		No. 3	52	
	排気筒基礎	No. 1	49	
		No. 2	45	○
		No. 3	51	
		No. 4	46	

#### 4. 1. 4 塩分浸透の点検箇所選定プロセス

運用ガイドに基づき、対象の部位の中で、塩分浸透の点検に照らして使用材料及び使用環境条件が最も激しくなる場所を選定した。

塩分浸透は、構造物へ飛来してくる海からの塩分の量や、使用材料及びコンクリート調合の影響を受けるが、対象の部位の範囲においては、使用材料や調合に大きな違いがない。一方、構造物へ飛来、付着する塩分の量は、対象の部位において、設置される環境条件において大きく影響を受けることから、使用環境条件が最も厳しくなる箇所を選定することとした。

大型構造物である原子炉建屋及びタービン建屋の外壁については、飛来塩分を捕集する器具（ドライガーゼ法、図 4. 1. 4-1 参照）を高さ方向に分散して設置し、捕集した塩分量が最も多い箇所をコアサンプル採取箇所を選定した。

その他部位については、構造物の規模や海中にある等の設置環境を踏まえ、コンクリート表面の塩分量を測定する器具（ポータブル表面塩分計、図 4. 1. 4-2 参照）を用いて構造物のコンクリート表面の塩分量を測定し、測定した塩分量が最も多い箇所をコアサンプル採取箇所を選定した。



図 4. 1. 4-1 飛来塩分捕集器  
(ドライガーゼ法)



図 4. 1. 4-2 表面塩分量測定器  
(ポータブル表面塩分計)

表 4. 1. 4-1 東海第二 塩分量測定値（飛来塩分捕集器）

対象のコンクリート構造物	対象の部位	測定番号	測定値 飛来塩分量 (mg/m <sup>2</sup> )	コアサンプル 採取箇所
原子炉建屋等 (タービン建屋)	外壁	No. 1	49.4	
		No. 2	69.2	
		No. 3	267.1	○
		No. 4	266.6	

測定期間：平成 28 年 2 月 17 日～平成 29 年 2 月 16 日

表 4. 1. 4-2 東海第二 塩分量測定値（ポータブル表面塩分計）

対象のコンクリート構造物	対象の部位	測定番号	測定値 表面塩分量 (mg/m <sup>2</sup> )	コアサンプル 採取箇所
取水槽	気中帯	No. 1	172.1	
		No. 2	281.2	
		No. 3	51.3	
		No. 4	88.3	
		No. 5	148.3	
		No. 6	79.0	
		No. 7	432.3	○
上記以外の構造物（安全機能を有する構造物又は常設重大事故等対処設備に属する構造物・安全機能を有する系統及び機器又は常設重大事故等対処設備に属する機器を支持する構造物に限る。）	排気筒	No. 1	19.4	
		No. 2	20.2	○
		No. 3	14.7	
		No. 4	15.2	

#### 4. 1. 5 アルカリ骨材反応の点検箇所選定プロセス

運用ガイドに基づき、対象の部位の中で、アルカリ骨材反応の点検に照らして使用材料及び使用環境条件が最も厳しくなる場所を選定した。

アルカリ骨材反応は、反応性骨材、水及びアルカリ分により反応が生じる事象であり、これに加えて、放射線についても反応の活性化の観点でその影響が懸念される。コンクリートについては、表 4. 1. 5-1 に示すとおり、2007 年に実施した日本コンクリート工学協会 JCI-DD2 法（アルカリ骨材反応を生じたコンクリート構造物のコア試料による膨張率の測定方法（案））による試験を実施した結果、無害であると判定された。合わせて、アルカリ分の主な供給元であるセメントについて、対象の部位の範囲においては使用材料に大きな違いがない。一方で、水分や塩分等の外部から供給されるアルカリ分については、その使用環境において異なってくることから、使用環境条件が最も厳しくなる箇所を選定することとした。

まず、放射線の観点で、放射線照射量が最も多い原子炉压力容器ペDESTALをコアサンプル採取箇所に選定した。次に、外部からのアルカリ供給源として塩分が考えられるため、特別点検における塩分浸透と同一位置を、コアサンプル採取箇所に選定した。最後に、残った部位について、発電所内各所の空気環境測定を実施した結果に基づき、水分の供給の観点で、対象の部位の範囲において湿度が最も大きな位置をコアサンプル採取箇所に選定した。

表 4. 1. 5-1 東海第二 JCI-DD2 法試験結果

構造物名	骨材産地	試験結果	判定基準	判定
		材令 6 ヶ月の膨張率 (%)	材令 6 ヶ月の膨張率 (%)	
原子炉建屋	粗骨材：茨城県那珂川産川砂利 細骨材：茨城県那珂郡東海村産敷地内掘削砂	0.026	0.10 以下	無害
取水構造物	粗骨材：茨城県常陸太田市町屋産碎石 細骨材：茨城県那珂郡東海村産敷地内掘削砂	0.042	0.10 以下	無害



表 4. 1. 5-2 東海第二 対象部位毎の湿度測定の結果

対象のコンクリート構造物	対象の部位	影響区分	平均湿度 (%)	選定したコアサンプル採取箇所
原子炉建屋等	外壁	外部からのアルカリ供給 (塩分)	—	屋外部
	内壁及び床	水分 (湿度)	54.9	主蒸気トンネル室
	原子炉压力容器ペDESTAL又はこれに準ずる部位	放射線照射	—	原子炉压力容器ペDESTAL中間スラブ
	一次遮蔽壁	水分 (湿度)	52.7	2階原子炉格納容器外周部 (南側)
	格納容器底部外基礎マット	水分 (湿度)	50.7	原子炉隔離時冷却ポンプ室
	使用済み燃料プール	水分 (湿度)	51.5	原子炉冷却材浄化系ブリコートタンク室
タービン建屋	外壁	外部からのアルカリ供給 (塩分)	—	屋外部
	内壁及び床	水分 (湿度)	61.9	低圧ヒーターエリア
	基礎マット	水分 (湿度)	61.9	低圧ヒーターエリア
取水槽	海中帯	外部からのアルカリ供給 (塩分)	—	循環水ポンプB水槽内側壁
	干満帯	外部からのアルカリ供給 (塩分)	—	循環水ポンプB水槽内側壁
	気中帯	外部からのアルカリ供給 (塩分)	—	循環水ポンプクレーン基礎
安全機能を有する系統及び機器又は常設重大事故等対策設備に属する機器を支持する構造物	タービン架台	水分 (湿度)	61.3	相分離母線エリア
上記以外の構造物 (安全機能を有する構造物又は常設重大事故等対策設備に属する構造物・安全機能を有する系統及び機器又は常設重大事故等対策設備に属する機器を支持する構造物に限る。)	使用済燃料乾式貯蔵建屋	水分 (湿度)	76.6	外壁 (屋内)
	排気筒	外部からのアルカリ供給 (塩分)	—	基礎 (南西)

平均湿度の測定期間：平成 28 年 2 月 17 日～平成 29 年 2 月 16 日

#### 4. 1. 6 強度の点検箇所選定プロセス

運用ガイドに基づき、対象の部位の中で、強度の点検に照らして使用材料及び使用環境条件が最も厳しくなる場所を検討した。しかしながら、強度低下につながる劣化要因は、熱、放射線照射、中性化、塩分浸透等多岐に渡り、合わせて、それぞれの劣化要因に影響を与える使用材料や使用環境条件が複雑に関係することを踏まえ、強度における使用材料及び使用環境条件が最も厳しくなる場所の選定を、以下の通り実施した。

- ・強度低下を引き起こす劣化要因として、熱、放射線照射、中性化、塩分浸透、機械振動、アルカリ骨材反応等がある。劣化状況評価において、強度低下をもたらす可能性がある要因毎に、強度低下に関する長期使用時の健全性評価を行うことになるが、その評価点となる箇所について、コアサンプルにより強度を確認することは、健全性評価の妥当性の観点で有効であると考えられる。
- ・このことから、表 4. 1. 6-1 に示すように、対象の構造物毎に対象の部位における各劣化要因の影響有無を踏まえ、対象構造物の範囲において、複数ある劣化要因なるべく網羅できるよう、対象の部位毎に異なる劣化要因の点検箇所等を、強度のコアサンプル採取位置に選定した。

表 4. 1. 6-1 対象構造物、対象の部位、劣化要因の影響有無、点検箇所選定

対象構造物	対象の部位	劣化要因							選定した点検箇所
		熱	放射線照射	中性化	塩分浸透	アルカリ骨材反応	機械振動	凍結融解	
原子炉建屋等	外壁	○	○	○	○	○	-	△	塩分浸透の点検箇所 (塩分浸透とアルカリ骨材反応の点検箇所は同一)
	内壁及び床	○	○	○	-	○	-	△	中性化の点検箇所
	原子炉圧力容器ベドスタル又はこれに準ずる部位	○	○	○	-	○	-	△	熱及び放射線照射の評価箇所
	一次遮蔽壁	○	○	○	-	○	-	△	中性化の点検箇所
	格納容器底部基礎マット	-	-	○	-	○	-	△	格納容器底部外基礎マットで代替評価
	格納容器底部外基礎マット	-	-	○	-	○	-	△	アルカリ骨材反応の点検箇所
	使用済み燃料プール	○	○	○	-	○	-	△	中性化の点検箇所
	ダイアフラムフロア	○	○	○	-	○	-	△	原子炉圧力容器ベドスタルで代替評価
タービン建屋	外壁	○	○	○	○	○	-	△	塩分浸透の点検箇所 (塩分浸透とアルカリ骨材反応の点検箇所は同一)
	内壁及び床	○	○	○	-	○	-	△	中性化の点検箇所
	基礎マット	-	-	○	-	○	-	△	アルカリ骨材反応の点検箇所
取水槽	海中帯	-	-	○	○	○	-	△	アルカリ骨材反応の点検箇所
	干満帯	-	-	○	○	○	-	△	塩分浸透の点検箇所 (塩分浸透とアルカリ骨材反応の点検箇所は同一)
	気中帯	-	-	○	○	○	-	△	中性化の点検箇所
タービン架台	○	○	○	-	○	○	△	機械振動の評価箇所	
使用済燃料乾式貯蔵建屋	○	○	○	-	○	-	△	遮蔽能力の点検箇所	
排気筒基礎	-	-	○	○	○	-	△	アルカリ骨材反応の点検箇所	

凡例 ○：影響有 △：高経年化対策上着目すべき経年劣化要因でない事象 -：影響無

■ 考慮した劣化要因

なお、強度・機能に影響を及ぼすこととなると判断し、原子炉建屋等 格納容器底部基礎マット、原子炉建屋等 ダイアフラムフロアについては、以下の理由により代替部位で強度を確認している。

①原子炉建屋等 格納容器底部基礎マット

当該部位においては、ライナが表面にあり、これを切断してしまうと強度・機能に影響を及ぼすことになるため、コアサンプルを採取できない。そのため、使用材料が同じで、格納容器底部基礎マットより使用環境条件が厳しいと想定される格納容器底部外基礎マットから採取したコアサンプルで代替評価することとした。

②原子炉建屋等 ダイアフラムフロア

当該部位においては、鉄筋が密に配筋されており、規格サイズのコアサンプルを採取するためには鉄筋を切断してしまい、強度・機能に影響を及ぼすことになるため、コアサンプルを採取できない。そのため、使用材料が同じで、ダイアフラムフロアより熱や放射線等の使用環境条件が厳しいと想定される原子炉圧力容器ペDESTAL又はこれに準ずる部位から採取したコアサンプルで代替評価することとした。

#### 4. 2 選定結果

以下に、点検項目毎に選定した点検箇所を示す。

表 4. 2-1 強度の点検箇所

対象のコンクリート構造物	対象の部位	点検箇所
原子炉建屋等	外壁	屋外部
	内壁及び床	地下1階非常用ディーゼル発電機室(2C)
	原子炉圧力容器ペDESTAL 又はこれに準ずる部位	原子炉圧力容器ペDESTAL中間スラブ
	一次遮蔽壁	地下1階原子炉格納容器外周部(東側)
	格納容器底部外基礎マット	原子炉隔離時冷却ポンプ室
	使用済み燃料プール	原子炉冷却材浄化系プリコートタンク室
タービン建屋	外壁	屋外部
	内壁及び床	地下1階空気圧縮機エリア
	基礎マット	低圧ヒーターエリア
取水槽	海中帯	循環水ポンプB水槽内側壁
	干満帯	循環水ポンプB水槽内側壁
	気中帯	循環水ポンプクレーン基礎
タービン架台		相分離母線エリア
使用済燃料乾式貯蔵建屋		外壁(屋内)
排気筒		基礎(南西)

表 4. 2-2 遮蔽能力の点検箇所

対象のコンクリート構造物	対象の部位	点検箇所
原子炉建屋等	外壁	5階原子炉格納容器外周部(西側)
	一次遮蔽壁	2階原子炉格納容器外周部(南側)
使用済燃料乾式貯蔵建屋		外壁(屋内)

表 4. 2-3 中性化深さの点検箇所

対象のコンクリート構造物	対象の部位	点検箇所
原子炉建屋等	外壁	5階原子炉外周部（東側）
	内壁及び床	地下1階非常用ディーゼル発電機室（2C）
	原子炉圧力容器ペDESTAL 又はこれに準ずる部位	原子炉圧力容器ペDESTAL中間スラブ
	一次遮蔽壁	地下1階原子炉格納容器外周部（東側）
	格納容器底部外基礎マット	低圧炉心スプレイポンプ室
	使用済み燃料プール	原子炉冷却材浄化系プリコートタンク室
タービン建屋	外壁	地下1階東側通路
	内壁及び床	空気圧縮機エリア
	基礎マット	ヒータードレンポンプ室
取水槽	海中帯	循環水ポンプB水槽内側壁
	干満帯	循環水ポンプB水槽内側壁
	気中帯	循環水ポンプクレーン基礎
タービン架台		移送ポンプエリア
使用済燃料乾式貯蔵建屋		外壁（屋内）
排気筒		基礎（南西）

表 4. 2-4 塩分浸透の点検箇所

対象のコンクリート構造物	対象の部位	点検箇所
原子炉建屋等	外壁	屋外部
タービン建屋	外壁	屋外部
取水槽	海中帯	循環水ポンプB水槽内側壁
	干満帯	循環水ポンプB水槽内側壁
	気中帯	循環水ポンプクレーン基礎
排気筒		基礎（南西）

表 4. 2-5 アルカリ骨材反応の点検箇所

対象のコンクリート構造物	対象の部位	点検箇所
原子炉建屋等	外壁	屋外部
	内壁及び床	主蒸気トンネル室
	原子炉圧力容器ペDESTAL 又はこれに準ずる部位	原子炉圧力容器ペDESTAL中間スラブ
	一次遮蔽壁	2階原子炉格納容器外周部（南側）
	格納容器底部外基礎マット	原子炉隔離時冷却ポンプ室
	使用済み燃料プール	原子炉冷却材浄化系プリコートタンク室
タービン建屋	外壁	屋外部
	内壁及び床	低圧ヒーターエリア
	基礎マット	低圧ヒーターエリア
取水槽	海中帯	循環水ポンプB水槽内側壁
	干満帯	循環水ポンプB水槽内側壁
	気中帯	循環水ポンプクレーン基礎
タービン架台		相分離母線エリア
使用済燃料乾式貯蔵建屋		外壁（屋内）
排気筒		基礎（南西）

## 5. 点検結果

点検結果を以下に示す。点検結果が、コンクリート構造物の健全性に影響を与えないことを確認している。

表 5-1 東海第二 強度の点検結果

対象のコンクリート構造物	対象の部位	点検結果		点検年月日 ( )内は データ採取日
		圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	平均圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	
原子炉建屋等	外壁		51.1	平成29年10月13日 (平成29年3月31日)
	内壁及び床		50.0	平成29年10月13日 (平成29年3月31日)
	原子炉圧力容器 ペデスタル又は これに準ずる部位		39.3	平成29年10月13日 (平成28年12月2日)
	一次遮蔽壁		50.5	平成29年10月13日 (平成27年11月10日)
	格納容器底部外 基礎マット		44.6	平成29年10月13日 (平成29年3月31日)
	使用済み燃料 プール		49.7	平成29年10月13日 (平成27年11月10日)
タービン建屋	外壁		48.2	平成29年10月13日 (平成29年3月31日)
	内壁及び床		33.9	平成29年10月13日 (平成29年9月27日)
	基礎マット		32.0	平成29年10月13日 (平成29年3月31日)
取水槽	海中帯		29.1	平成29年10月13日 (平成26年12月5日)
	干満帯		34.6	平成29年10月13日 (平成26年12月5日)
	気中帯		35.7	平成29年10月13日 (平成26年12月5日)
安全機能を有する系統及び機器 又は常設重大事故等対策設備に 属する機器を支持する構造物	タービン架台		37.0	平成29年10月13日 (平成26年12月5日)
上記以外の構造物(安全機能を有 する構造物又は常設重大事故等 対処設備に属する構造物・安全機 能を有する系統及び機器又は常 設重大事故等対処設備に属する 機器を支持する構造物に限る。)	使用済み燃料乾式 貯蔵建屋		24.8	平成29年10月13日 (平成28年8月1日)
	排気筒		24.9	平成29年10月13日 (平成26年12月5日)

表 5-2 東海第二 遮蔽能力の点検結果

対象のコンクリート構造物	対象の部位	点検結果		点検年月日 ( )内は データ採取日
		乾燥単位 容積質量 (t/m <sup>3</sup> )	平均乾燥単位 容積質量 (t/m <sup>3</sup> )	
原子炉建屋等	外壁		2.261	平成29年10月13日 (平成28年11月16日)
	一次遮蔽壁		2.230	平成29年10月13日 (平成29年3月6日)
上記以外の構造物(安全機能を有する構造物又は常設重大事故等対処設備に属する構造物・安全機能を有する系統及び機器又は常設重大事故等対処設備に属する機器を支持する構造物に限る。)	使用済燃料乾式 貯蔵建屋		2.188	平成29年10月13日 (平成28年11月16日)



表 5-3 東海第二 中性化深さの点検結果

対象のコンクリート構造物	対象の部位	点検結果		点検年月日 ( )内は データ採取日
		中性化深さ (mm)	平均中性化深さ (mm)	
原子炉建屋等	外壁		28.4	平成29年10月13日 (平成29年4月3日)
	内壁及び床		15.3	平成29年10月13日 (平成29年4月3日)
	原子炉圧力容器 ペデスタル又は これに準ずる部位		1.7	平成29年10月13日 (平成29年2月20日)
	一次遮蔽壁		31.9	平成29年10月13日 (平成29年4月3日)
	格納容器底部外 基礎マット		1.1	平成29年10月13日 (平成26年12月24日)
	使用済み燃料 プール		3.6	平成29年10月13日 (平成27年11月12日)
タービン建屋	外壁		39.6	平成29年10月13日 (平成29年4月3日)
	内壁及び床		24.8	平成29年10月13日 (平成29年9月27日)
	基礎マット		1.7	平成29年10月13日 (平成29年4月3日)
取水槽	海中帯		1.5	平成29年10月13日 (平成26年12月24日)
	干満帯		0.0	平成29年10月13日 (平成26年12月24日)
	気中帯		10.3	平成29年10月13日 (平成26年12月24日)
安全機能を有する系統及び機器 又は常設重大事故等対策設備に 属する機器を支持する構造物	タービン架台		2.8	平成29年10月13日 (平成29年4月3日)
上記以外の構造物(安全機能を有 する構造物又は常設重大事故等 対策設備に属する構造物・安全機 能を有する系統及び機器又は常 設重大事故等対策設備に属する 機器を支持する構造物に限る。)	使用済み燃料乾式 貯蔵建屋		20.9	平成29年10月13日 (平成29年9月27日)
	排気筒		7.5	平成29年10月13日 (平成26年12月24日)

表 5-4 東海第二 塩分浸透の点検結果

対象のコンクリート構造物	対象の部位	点検結果							点検年月日 ( )内は データ採取日
		塩化物イオン量 (kg/m <sup>3</sup> ) (塩化物イオン濃度 (%))							
		表面からの深さ (mm)							
		5~ 15	15~ 25	25~ 35	45~ 55	65~ 75	95~ 105	145~ 155	
原子炉建屋等	外壁	0.57 (0.03)	0.35 (0.02)	0.28 (0.01)	0.20 (0.01)	0.15 (0.01)	0.18 (0.01)	0.20 (0.01)	平成29年10月13日 (平成29年4月4日)
タービン建屋	外壁	0.36 (0.02)	0.20 (0.01)	0.16 (0.01)	0.11 (0.00)	0.13 (0.01)	0.11 (0.01)	0.07 (0.00)	平成29年10月13日 (平成29年4月4日)
取水槽	海中帯	2.15 (0.09)	1.95 (0.09)	1.72 (0.08)	1.44 (0.06)	1.03 (0.05)	0.57 (0.03)	0.23 (0.01)	平成29年10月13日 (平成26年12月18日)
	干満帯	1.89 (0.08)	2.58 (0.11)	1.98 (0.09)	1.37 (0.06)	1.09 (0.05)	0.39 (0.02)	0.11 (0.00)	平成29年10月13日 (平成26年12月18日)
	気中帯	1.57 (0.07)	2.44 (0.11)	2.14 (0.09)	1.37 (0.06)	0.89 (0.04)	0.30 (0.01)	0.11 (0.00)	平成29年10月13日 (平成27年12月8日)
上記以外の構造物 (安全機能を有する構造物又は常設重大事故等対処設備に属する構造物・安全機能を有する系統及び機器又は常設重大事故等対処設備に属する機器を支持する構造物に限る。)	排気筒	0.34 (0.02)	0.34 (0.02)	0.30 (0.01)	0.23 (0.01)	0.20 (0.01)	0.18 (0.01)	0.23 (0.01)	平成29年10月13日 (平成29年10月10日)

表 5-5 東海第二 アルカリ骨材反応の点検結果

対象のコンクリート構造物	対象の部位	実体顕微鏡観察結果	点検年月日 ( )内は データ採取日
原子炉建屋等	外壁	1	平成29年10月13日 (平成29年4月26日)
	内壁及び床	1	平成29年10月13日 (平成28年1月21日)
	原子炉圧力容器ベDESTAL 又はこれに準ずる部位	1	平成29年10月13日 (平成28年12月2日)
	一次遮蔽壁	1	平成29年10月13日 (平成29年4月26日)
	格納容器底部外基礎マット	1	平成29年10月13日 (平成29年4月26日)
	使用済み燃料プール	1	平成29年10月13日 (平成28年1月21日)
タービン建屋	外壁	1	平成29年10月13日 (平成29年4月26日)
	内壁及び床	1	平成29年10月13日 (平成29年4月26日)
	基礎マット	1	平成29年10月13日 (平成29年4月26日)
取水槽	海中帯	1	平成29年10月13日 (平成28年1月21日)
	干満帯	1	平成29年10月13日 (平成28年1月21日)
	気中帯	1	平成29年10月13日 (平成29年4月26日)
安全機能を有する系統及び機器 又は常設重大事故等対策設備に 属する機器を支持する構造物	タービン架台	1	平成29年10月13日 (平成28年1月21日)
上記以外の構造物 (安全機能を有する構造物又は常設重大事故等対処設備に属する構造物・安全機能を有する系統及び機器又は常設重大事故等対処設備)	使用済み燃料乾式貯蔵建屋	1	平成29年10月13日 (平成28年11月10日)
	排気筒	1	平成29年10月13日 (平成28年1月21日)

結果の凡例： 1. 反応性なし 2. 反応性あり

## 6. まとめ

コンクリート構造物の特別点検においては、これまでの高経年化技術評価では確認していなかった範囲を含め、使用材料及び使用環境条件が最も厳しい箇所から採取したコアサンプルにより、強度、遮蔽能力、中性化深さ、塩分浸透及びアルカリ骨材反応の5つの点検項目について点検を実施した。

この点検により、実施時点（運転開始より約40年経過時点）において、コンクリートの健全性に影響を与える劣化は認められなかった。また、得られた結果を用いて、20年間の運転期間延長を踏まえた劣化状況評価を行っている。

また点検結果は、これまで実施してきた高経年化技術評価による点検結果に対して、大きな違いはみられなかった。

### 【参考文献】

- 1) 実用発電用原子炉の運転期間延長認可申請に係る運用ガイド（原管P発第1306197号 改正 平成29年9月20日 原規規発第1709202号 原子力規制委員会決定）
- 2) 徳永将司ほか，日本建築学会大会学術講演梗概集（関東）2015年9月「既存構造物における遮蔽コンクリートの乾燥単位容積質量試験方法の検討（その3 コア供試体による乾燥単位容積質量の実験）」
- 3) 原子力用コンクリートの反応性骨材の評価方法の提案（JNES-RE-2013-2050，平成26年2月）
- 4) 株式会社太平洋コンサルタントHP  
(<http://www.taiheiyo-c.co.jp/business/business05/business0507/>)
- 5) アルカリ骨材反応による劣化を受けた道路橋の橋脚・橋台躯体に関する補修・補強ガイドライン（案）（平成20年3月 ASRに関する対策検討委員会）
- 6) 森永繁，鉄筋の腐食速度に基づいた鉄筋コンクリート建築物の寿命予測に関する研究（東京大学学位論文，1986）

# 別紙

- 別紙 1. アルカリ骨材反応に関する特別点検方法の選定の考え方
- 別紙 2. 遮蔽能力における非破壊試験位置
- 別紙 3. 空気環境測定位置
- 別紙 4. 中性化における非破壊試験実施位置
- 別紙 5. 塩分量測定位置
- 別紙 6. 特別点検実施位置
- 別紙 7. 塩分量測定の考え方

## 別紙1 アルカリ骨材反応に関する特別点検方法の選定の考え方

### 1. 特別点検方法の選定の考え方について

以下の①～③を踏まえて特別点検に適用する点検方法を選定し、点検を実施する。

- ① JIS 規格、各種学会規格から点検方法を検討
  - ・点検項目に適した JIS 規格及び各種学会規格から選定
  - ・上記規格を一部変更する場合、変更箇所の妥当性を適切に評価して適用
  - ・適した規格が存在しない場合、特別点検実施時の最新の知見を踏まえて、適切な方法を検討
- ② 実構造物の状況を踏まえた適切な点検方法を検討
  - ・定期的な目視確認による実構造物の状況（アルカリ骨材反応に起因すると考えられるひび割れが認められるか否か）を踏まえて適切な点検方法を検討
- ③ 発電所内の広範囲において適用できる点検方法を検討

①より、特別点検方法は、JIS 規格や各種学会規格が存在しないため、最新知見である「原子力用コンクリートの反応性骨材の評価方法の提案（JNES-RE-2013-2050，平成 26 年 2 月）」及び「ASR 診断の現状とあるべき姿研究委員会報告書（JCI，平成 26 年 7 月）」にて提案されている方法（参考表、参考図）に基づくこととする。

上記の方法に基づいて実施する外観観察については、②、③を踏まえて、「実体顕微鏡観察」を選定する。観察した結果、「反応性あり」と判定された場合は、最新知見を踏まえて、アルカリ骨材反応の進展状況を把握するために、より精緻な方法による特別点検を実施する。具体的には、実体顕微鏡観察結果により、「反応性あり」と判定された部位について、反応が生じている骨材の鉱物同定及び反応の進展状況（反応リム・ゲル、ひび割れ）をより精緻に確認できる「偏光顕微鏡観察」や、反応が生じている特定の鉱物及びゲル生成物の同定ならびにひび割れ等の進展状況をより精緻に確認できる「走査電子顕微鏡観察」等を選定し、点検を実施する（表 1 参照）。

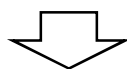
なお、必要に応じて追加のコアサンプルを採取する場合は、最初のコアサンプルと同様、アルカリ骨材反応に対して使用環境の厳しい箇所を選定する。

表 1 精緻な点検方法（岩石学的診断方法）

岩石学的診断法	特徴等
偏光顕微鏡	反応性鉱物の同定、進展状況（反応リム、ゲル、ひび割れ）が確認可能
走査電子顕微鏡	特定の反応性鉱物の同定、ゲル生成物の同定、ひび割れ等の進展状況が確認可能

## 2. 東海第二における実績

- ① 特別点検実施時において、規格が存在しなかったことから、最新知見であった「原子力用コンクリートの反応性骨材の評価方法の提案（JNES-RE-2013-2050，平成26年2月）」を踏まえて検討した。本提案では、アルカリ骨材反応が生じている場合における、各種顕微鏡（実体顕微鏡や偏光顕微鏡等）を用いた岩石学的診断方法の提案がなされており、これらの診断法から選定することとした。
- ② 定期的な目視確認を実施し、運転開始から約40年間において、アルカリ骨材反応に起因すると判断されるひび割れ等は認められていない等、コンクリートの健全性に影響を与えるようなアルカリ骨材反応がこれまで発生していないことから、アルカリ骨材反応の発生有無・程度の確認に主眼をおいた方法を選定することとした。
- ③ 汎用性のある点検方法であることを考慮して選定することとした。



①～③を踏まえて「実体顕微鏡観察」を選定し、点検箇所毎に「反応性あり」「反応性なし」の判定を行った。  
その結果、全ての点検箇所において、「反応性なし」であることを確認した。

なお、劣化状況評価を踏まえた上で、特別点検方法の選定プロセス及び点検結果の妥当性の確認のため、代表箇所について偏光顕微鏡観察を行った。その結果、妥当であることを確認した。

参考表 岩石学的診断法（国内）

		試験方法		長所	課題
骨材	総プロ法 (旧建設省)	目視観察	コンクリートより取り出した骨材・コアのスライス片	簡便	岩種判定が目的・切断により、ゲルが見えにくくなる
		偏光顕微鏡観察	薄片（主にコンクリートより取り出した粗骨材）	やや簡便	粗骨材中の有害鉱物の含有状況の判定が目的。細骨材は対象外。セメントペーストのひび割れの進展状況を観察せず
		X線回折分析	コンクリートから取り出した粗骨材	簡便	オパール・ガラスは検出できない
	JCI-DD3	偏光顕微鏡観察	薄片（未使用骨材）	やや間便	コンクリート中の骨材の反応状況は観察の対象外
		X線回折分析	未使用骨材	簡便	反応性鉱物をリストアップしているが、内容が不正確
	コンクリート	総プロ法 (旧建設省)	湿式化学分析	ゲルの確認（掻き取った試料）	簡便
水溶性アルカリの測定				やや簡便	水溶性アルカリをすべてセメント由来とみなす。そのため、セメントのアルカリ量を過大に評価する
NEXCO 西日本 (九州) 福永ら (2007)  Katayama et al (2008)		実体顕微鏡観察	ゲルの検出（コア外周・破断面）	簡便	岩種の詳細は分からない
		岩種構成定量	粗骨材（展開写真）	やや簡便	展開カメラは市販されていない
			細骨材（薄片）	正確	測定に熟練・時間を要する
		偏光顕微鏡観察	反応・ひびの進展状況確認（薄片）	正確	薄片作製・観察に熟練を要する
		SEM*観察	ゲルの検出（鏡面研磨薄片）	正確	観察に熟練を要する
		EPMA分析・EDS分析**	ゲルの組成分析（鏡面研磨薄片）	正確	観察・分析に熟練・時間を要する
未水和セメントのアルカリ分析（鏡面研磨薄片）	正確		観察・分析に熟練・時間を要する		

\* SEM：走査電子顕微鏡

\*\* EPMA：電子線プローブ・マイクロアナライザー

\*\*\* EDS：エネルギー分散型スペクトル分析装置

出典：原子力用コンクリートの反応性骨材の選定方法の提案

(JNES-RE-2013-2050, 平成 26 年 2 月)

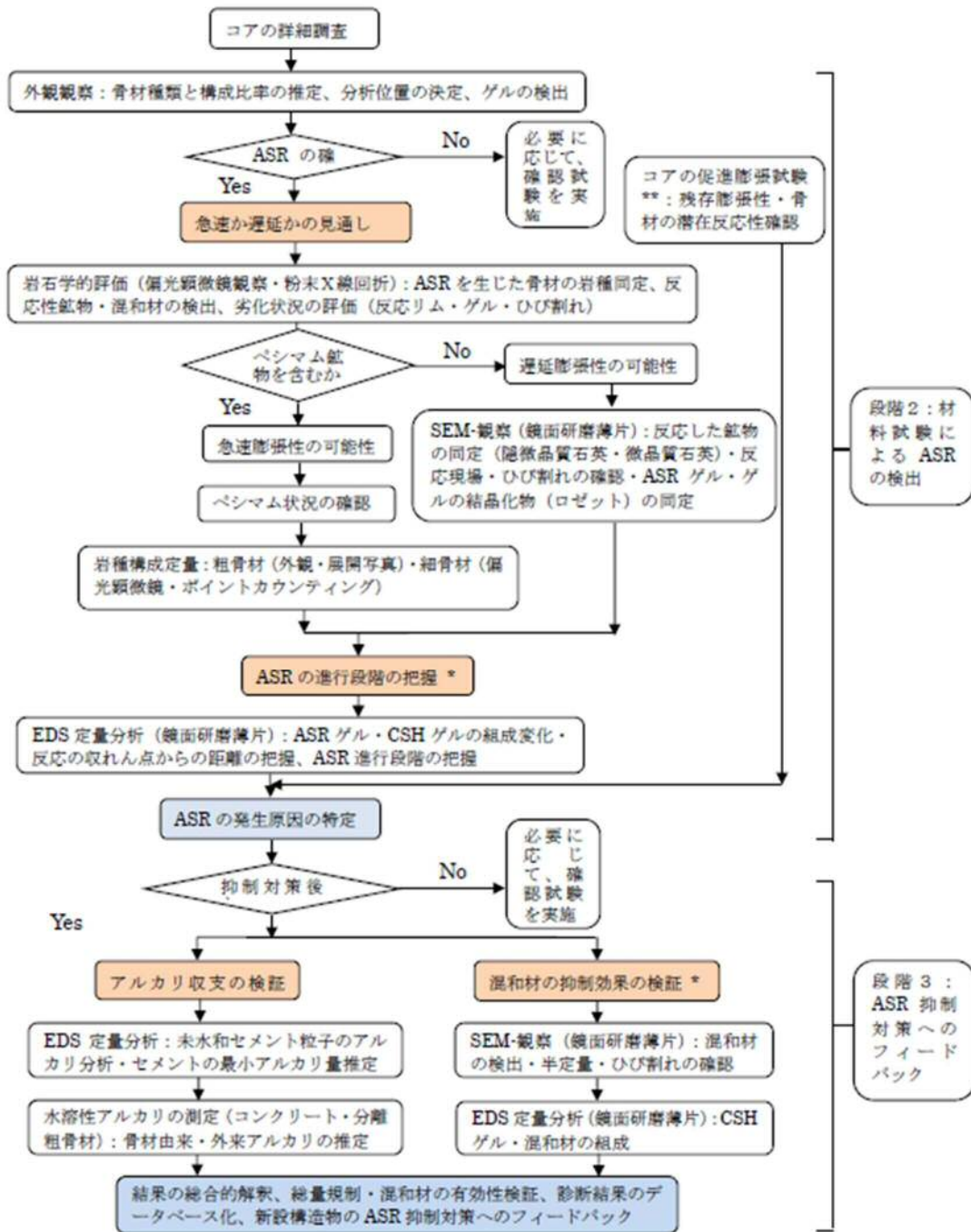


図 2.2 (続き) コンクリート建造物の ASR 診断フロー (案)

\* Katayama et al. (2004, 2008)、EDS:エネルギー分散型スペクトル分析装置  
 \*\*Katayama et al. (2004)の方法 (φ5cm×L13cm, 80℃ 1M NaOH 浸漬)、または JCI-DD2

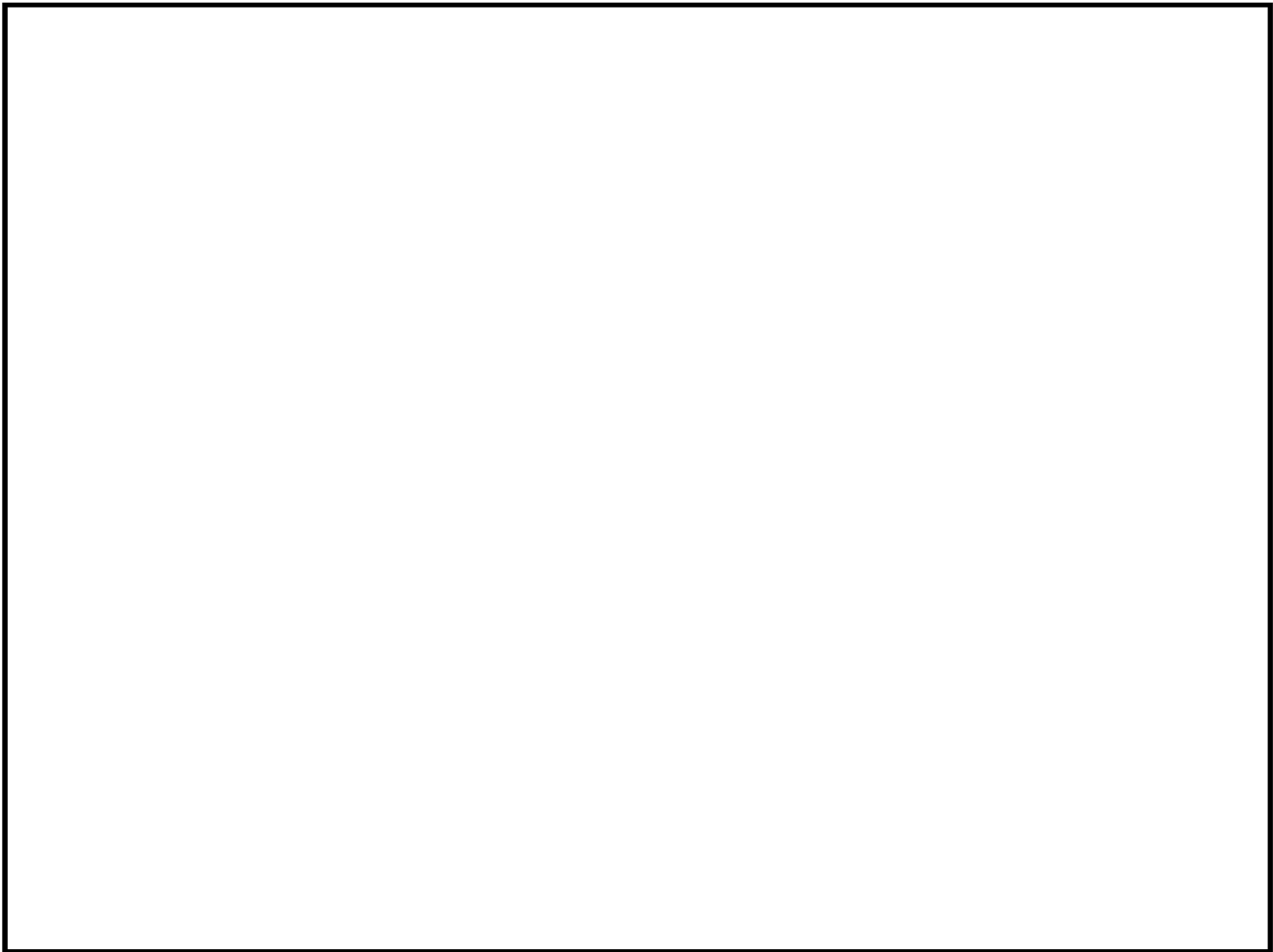
参考図 コンクリート建造物の ASR 診断フロー (案)

出典：原子力用コンクリートの反応性骨材の選定方法の提案  
 (JNES-RE-2013-2050, 平成 26 年 2 月)



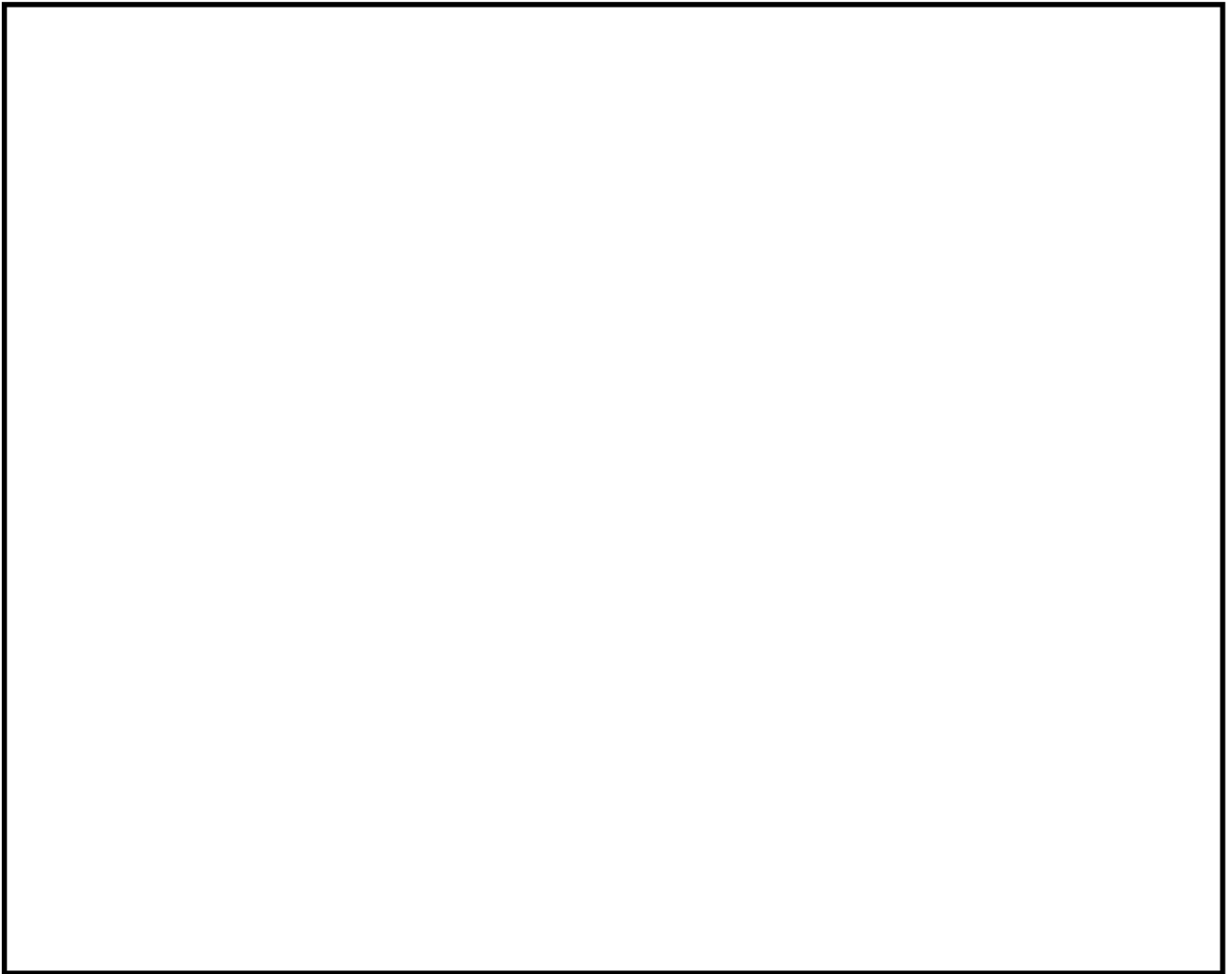
別紙 2 遮蔽能力における非破壊試験位置

凡例 ▼ : 非破壊試験実施位置



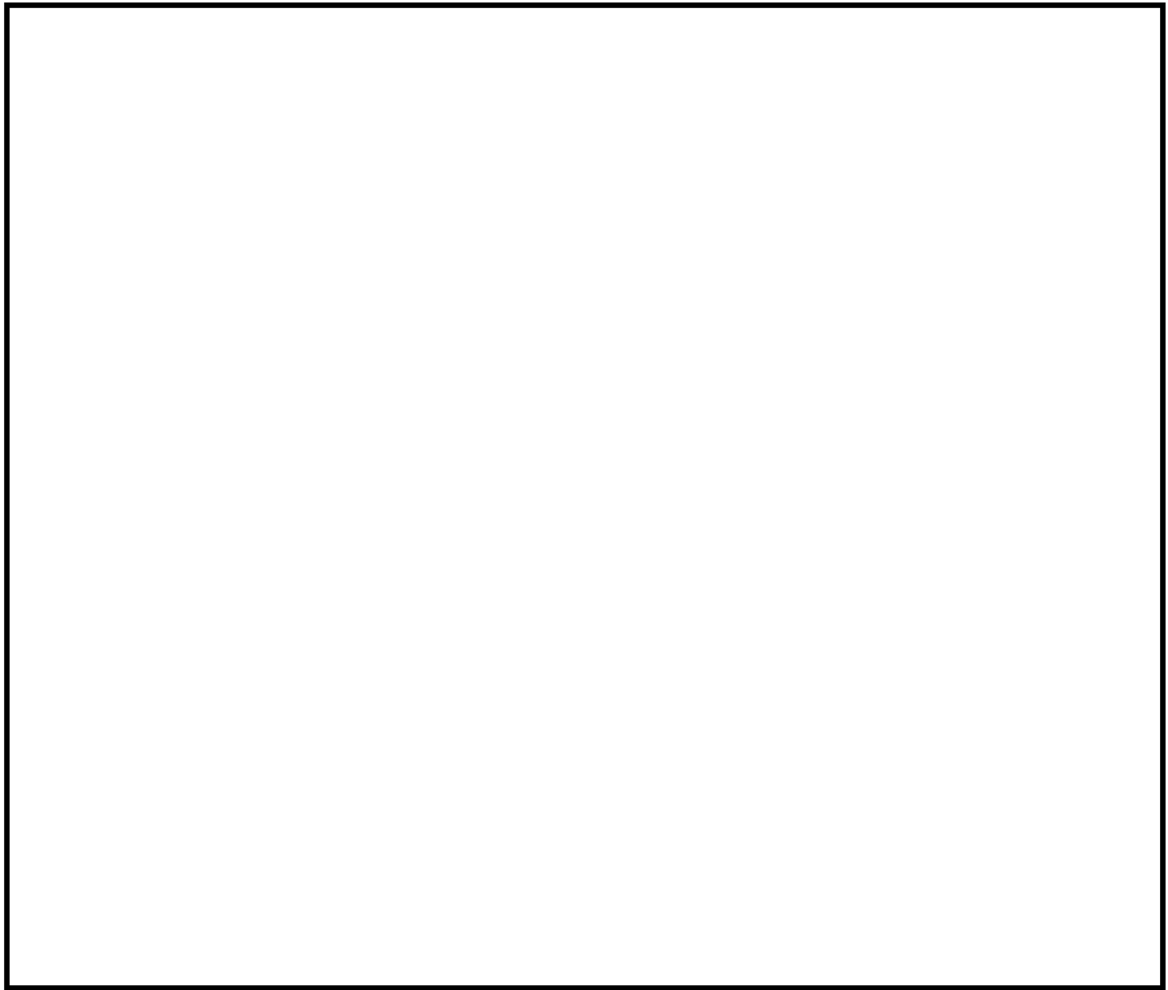
図一別紙 2-1 東海第二 非破壊試験実施位置 (遮蔽能力)  
(原子炉建屋 EL+14.0m)

凡例 ▼ : 非破壊試験実施位置



図一別紙 2-2 東海第二 非破壊試験実施位置 (遮蔽能力)  
(原子炉建屋 EL+38.8m)

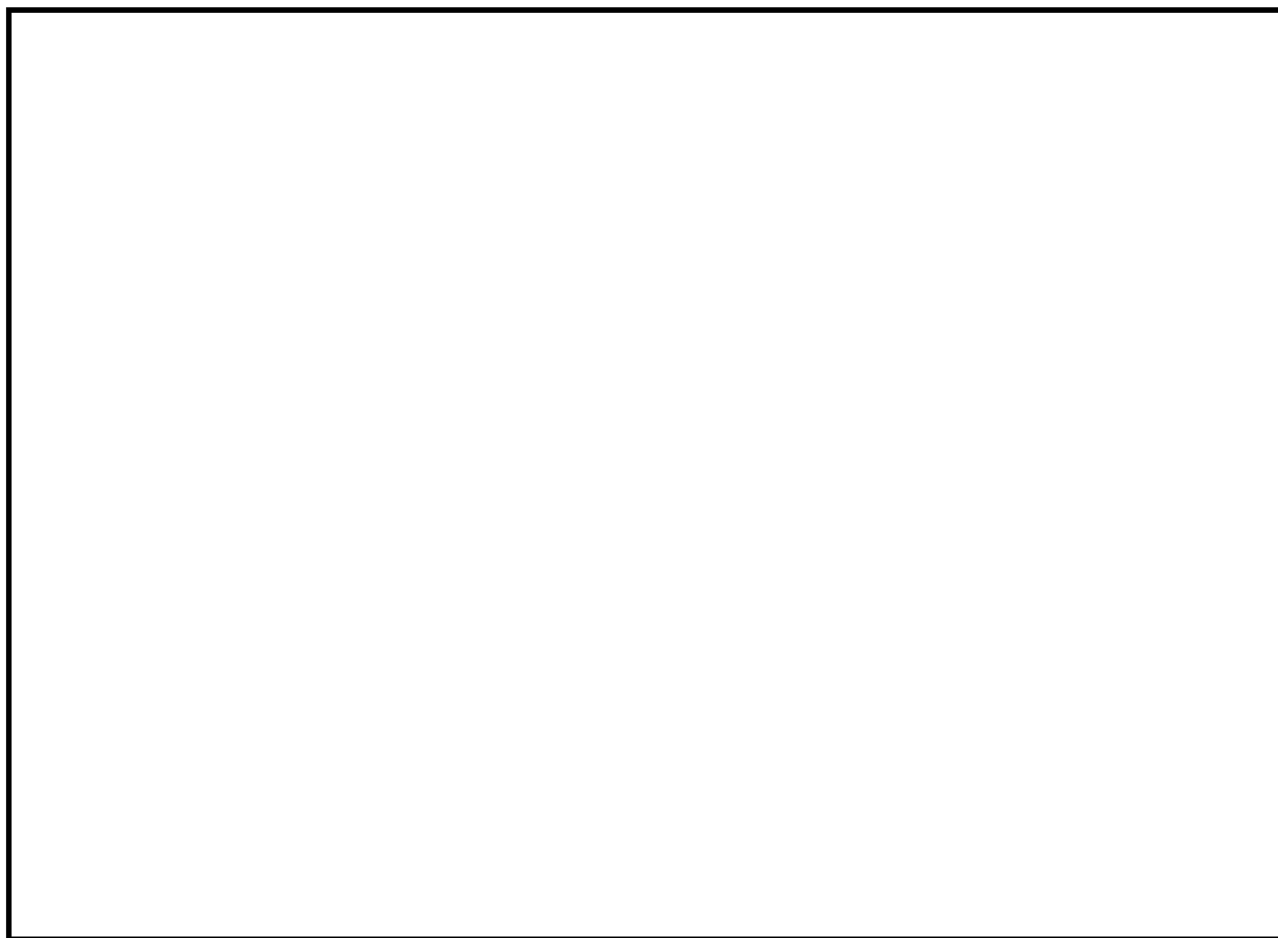
凡例 ▼：非破壊試験実施位置



図一別紙 2-3 東海第二 非破壊試験実施位置 (遮蔽能力)  
(使用済燃料乾式貯蔵建屋)

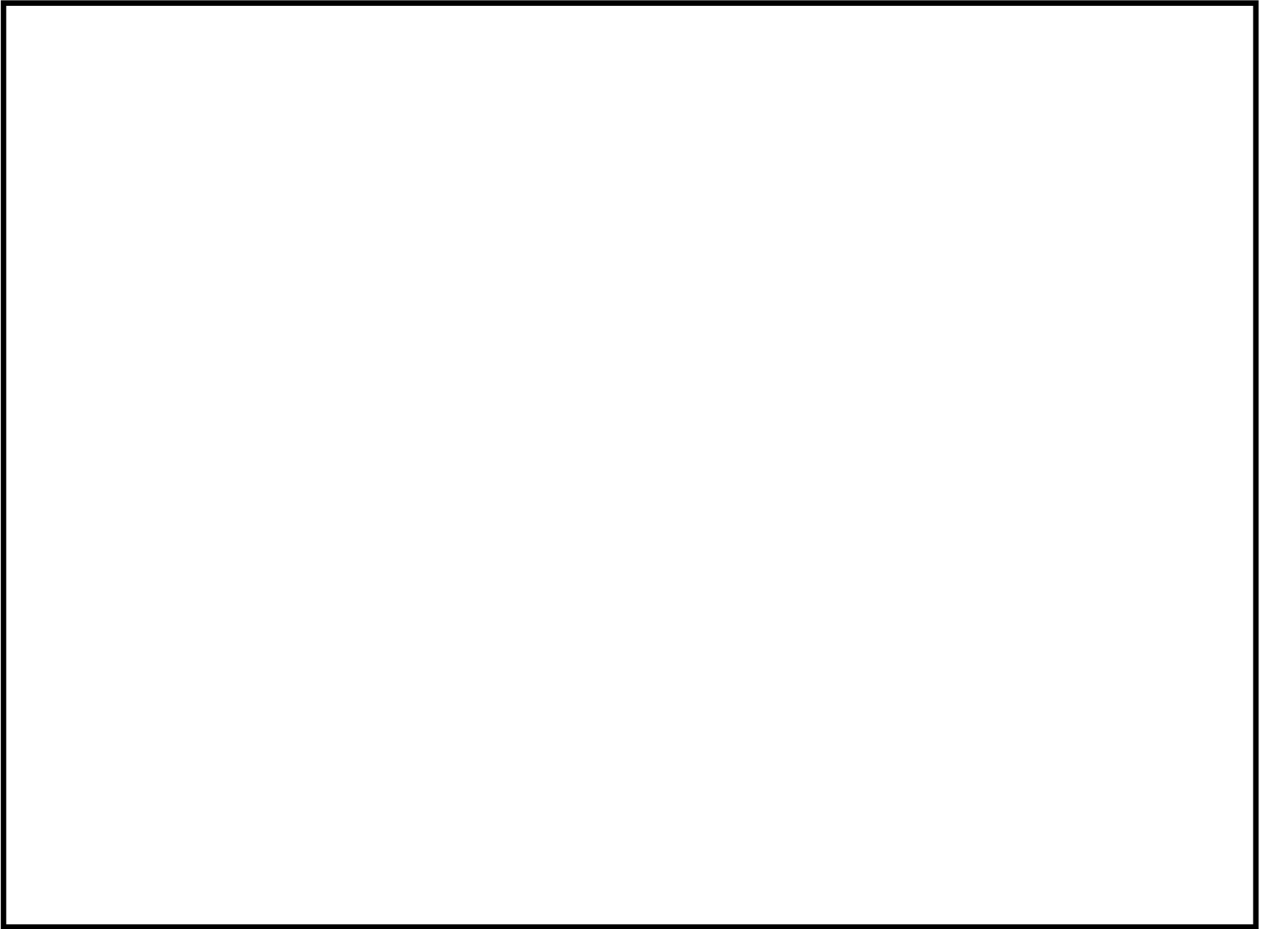
別紙 3 空氣環境測定位置

凡例 ● : 空氣環境測定箇所



図－別紙 3－1 空氣環境測定箇所 (1/10)

凡例 ● : 空氣環境測定箇所



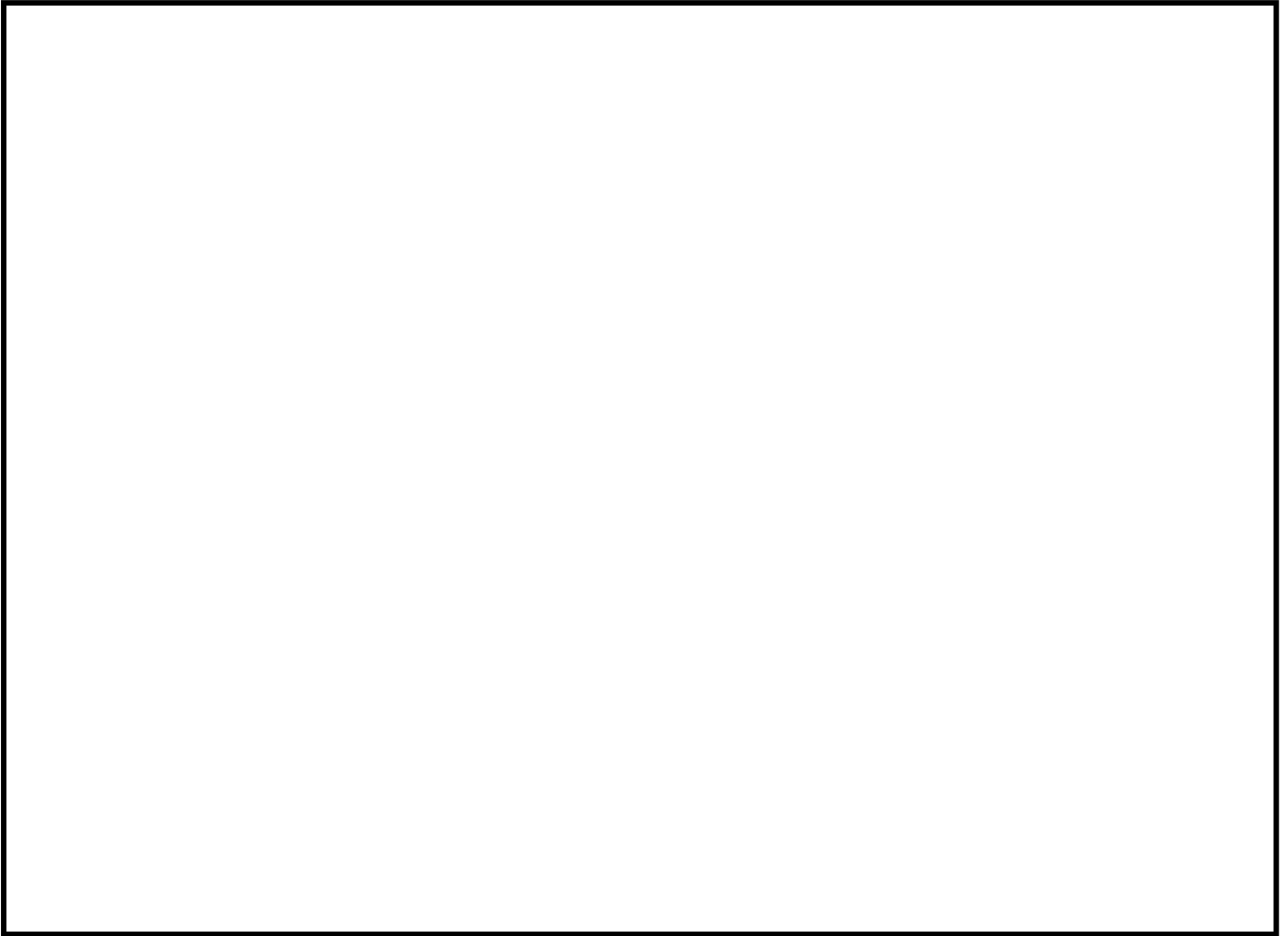
図一別紙 3-2 空氣環境測定箇所 (2/10)

凡例 ● : 空氣環境測定箇所



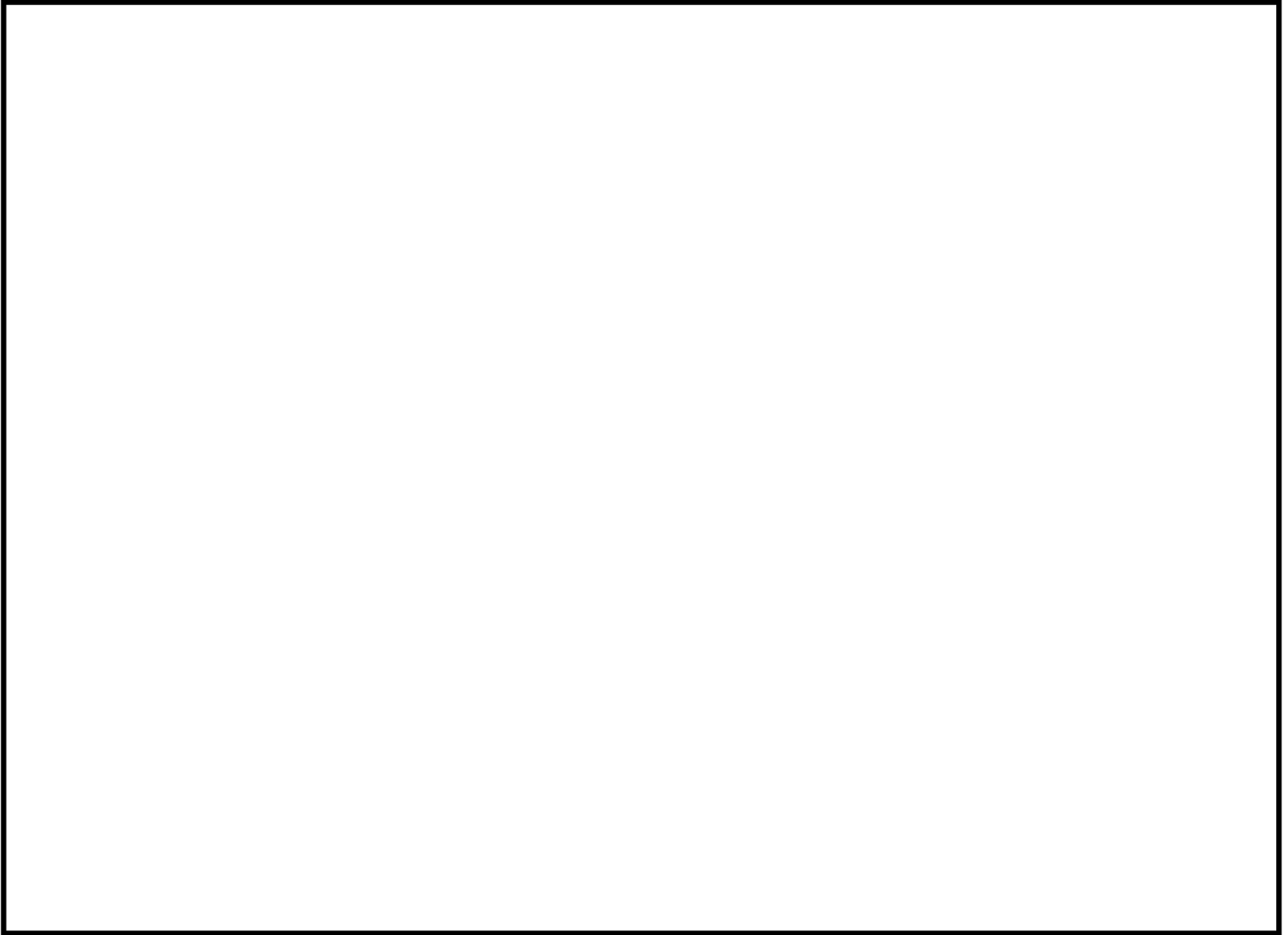
図一別紙 3-3 空氣環境測定箇所 (3/10)

凡例 ● : 空氣環境測定箇所



図一別紙 3-4 空氣環境測定箇所 (4/10)

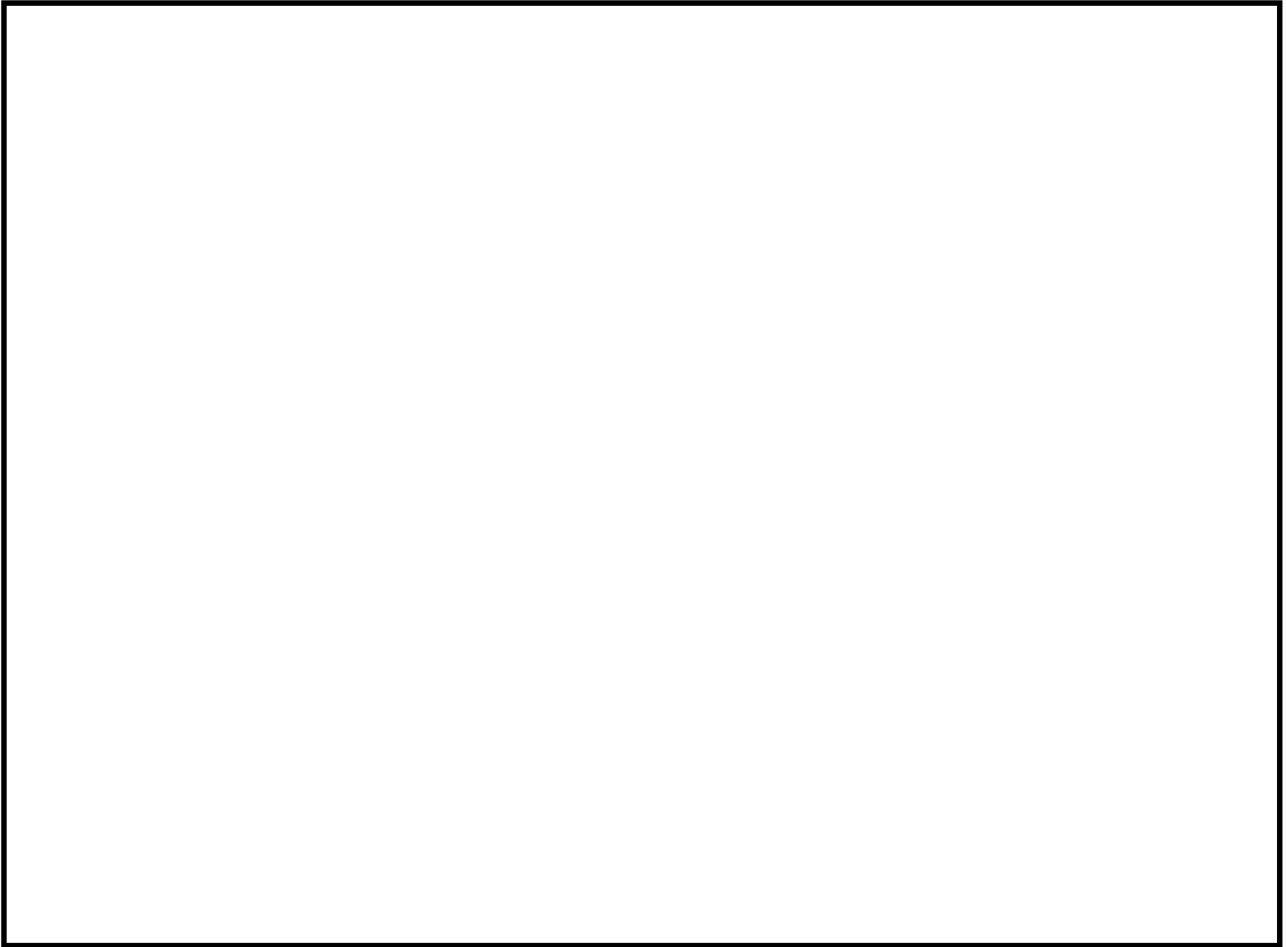
凡例 ● : 空氣環境測定箇所



図一別紙 3-5 空氣環境測定箇所 (5/10)

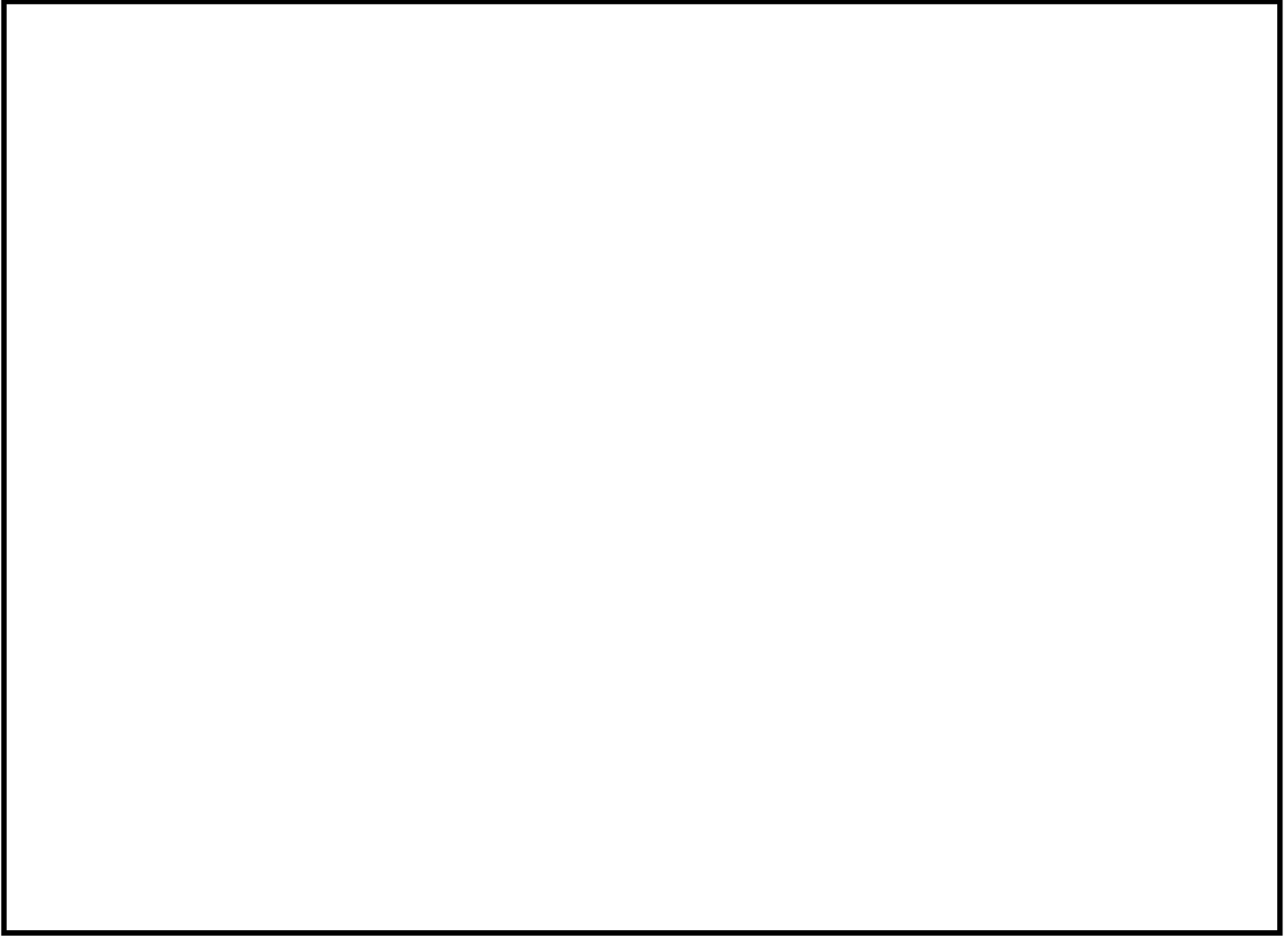


凡例 ● : 空氣環境測定箇所



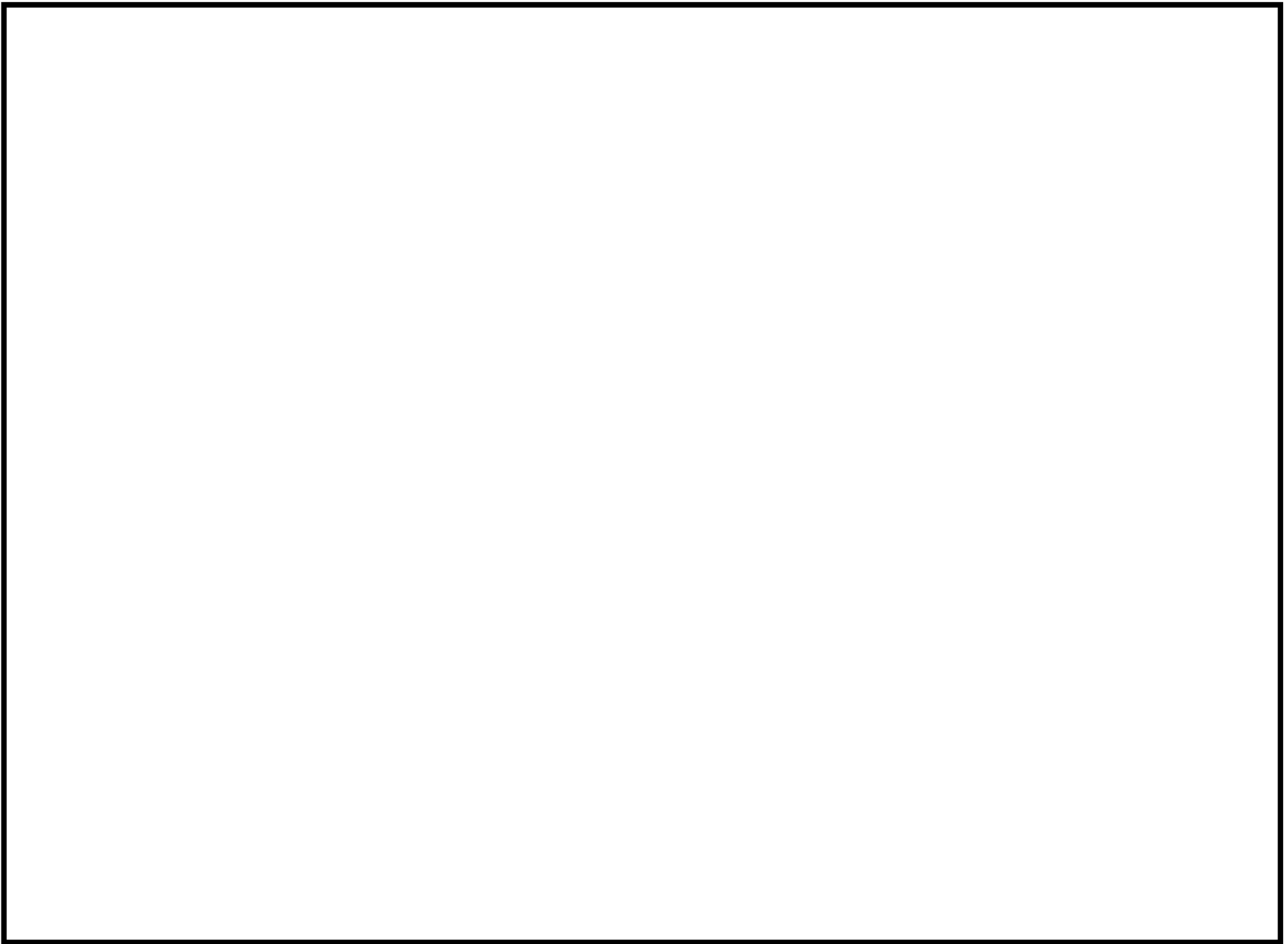
図一別紙 3-6 空氣環境測定箇所 (6/10)

凡例 ● : 空氣環境測定箇所



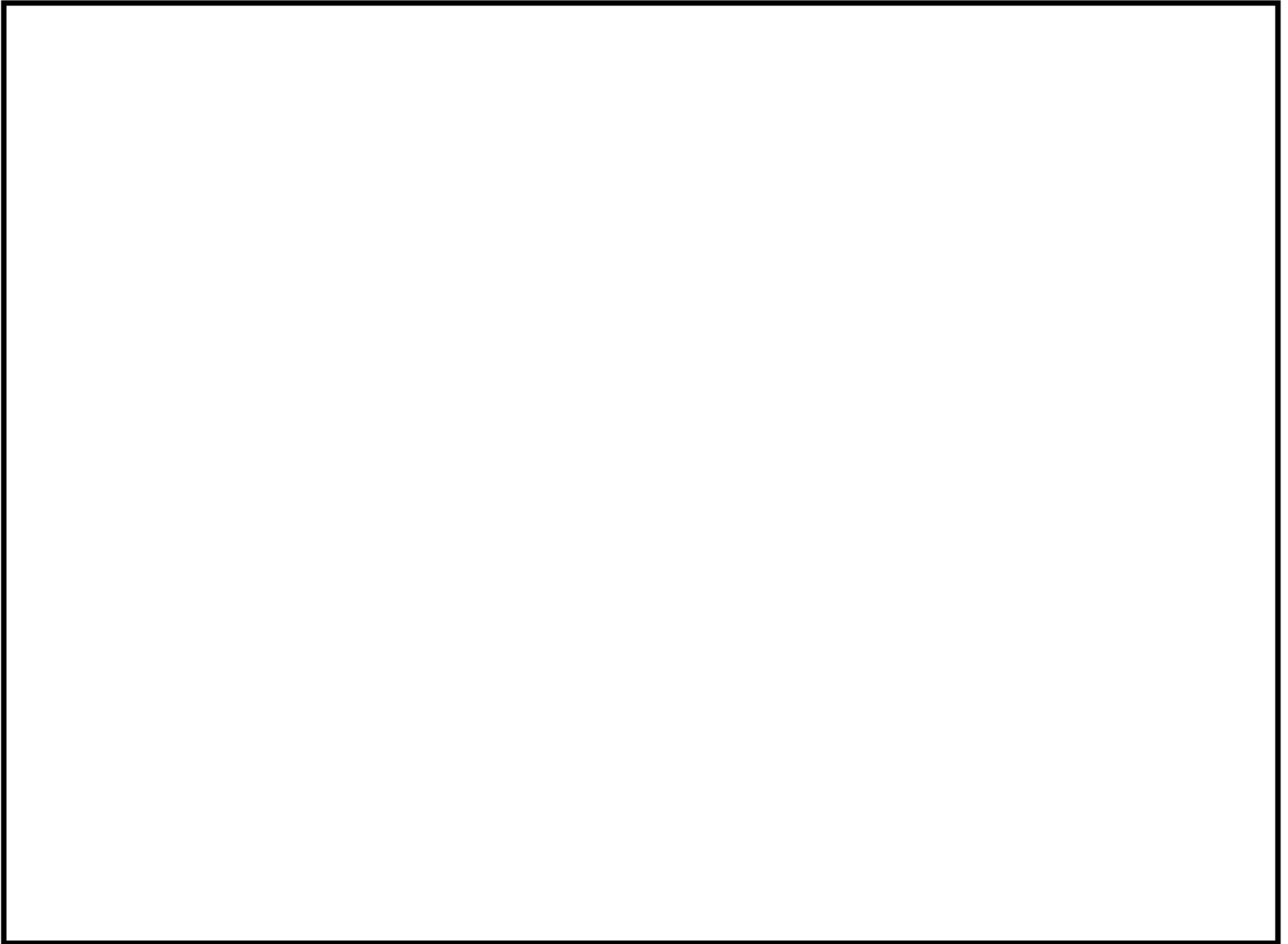
図一別紙 3-7 空氣環境測定箇所 (7/10)

凡例 ● : 空氣環境測定箇所



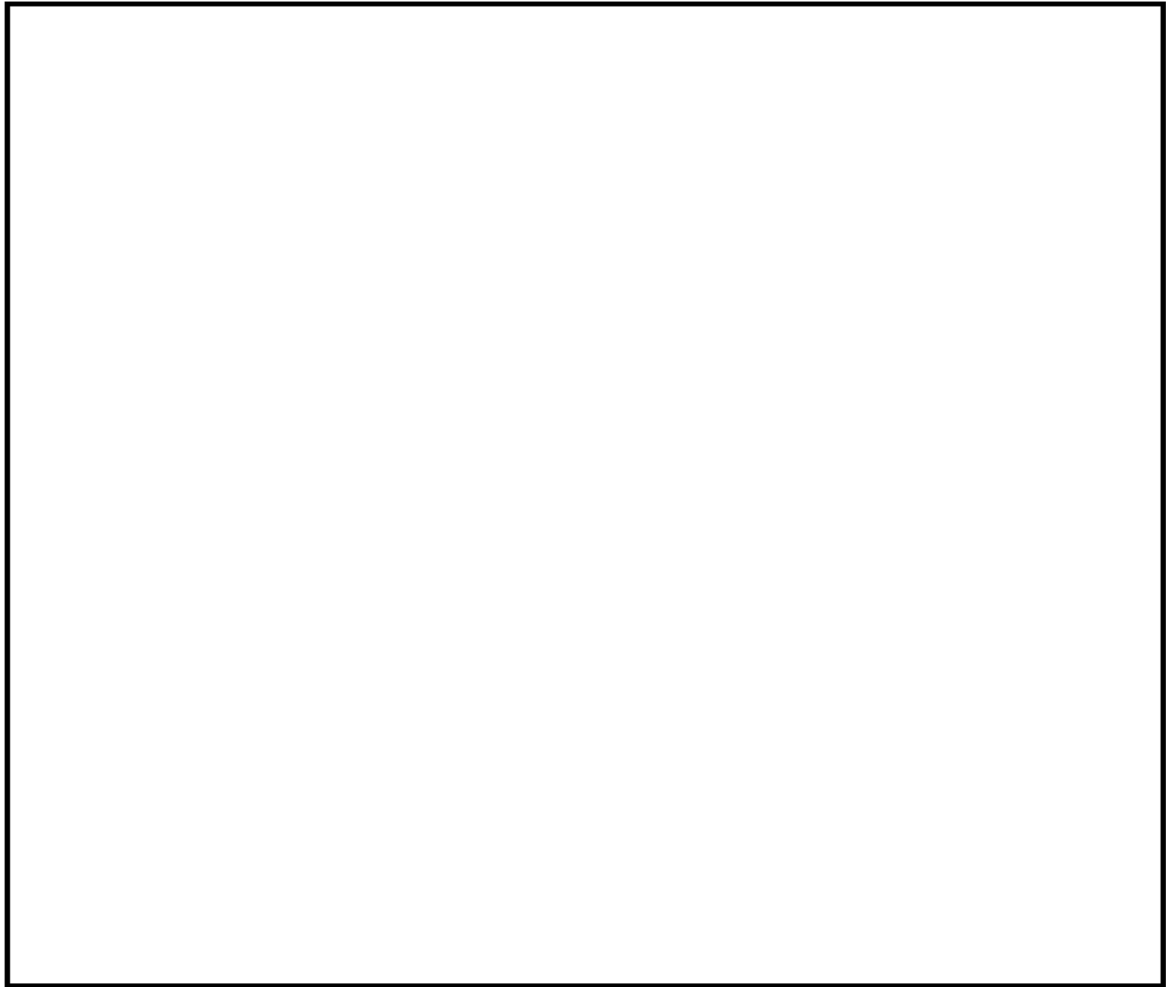
図－別紙 3－8 空氣環境測定箇所 (8/10)

凡例 ● : 空氣環境測定箇所



図－別紙 3－9 空氣環境測定箇所 (9/10)

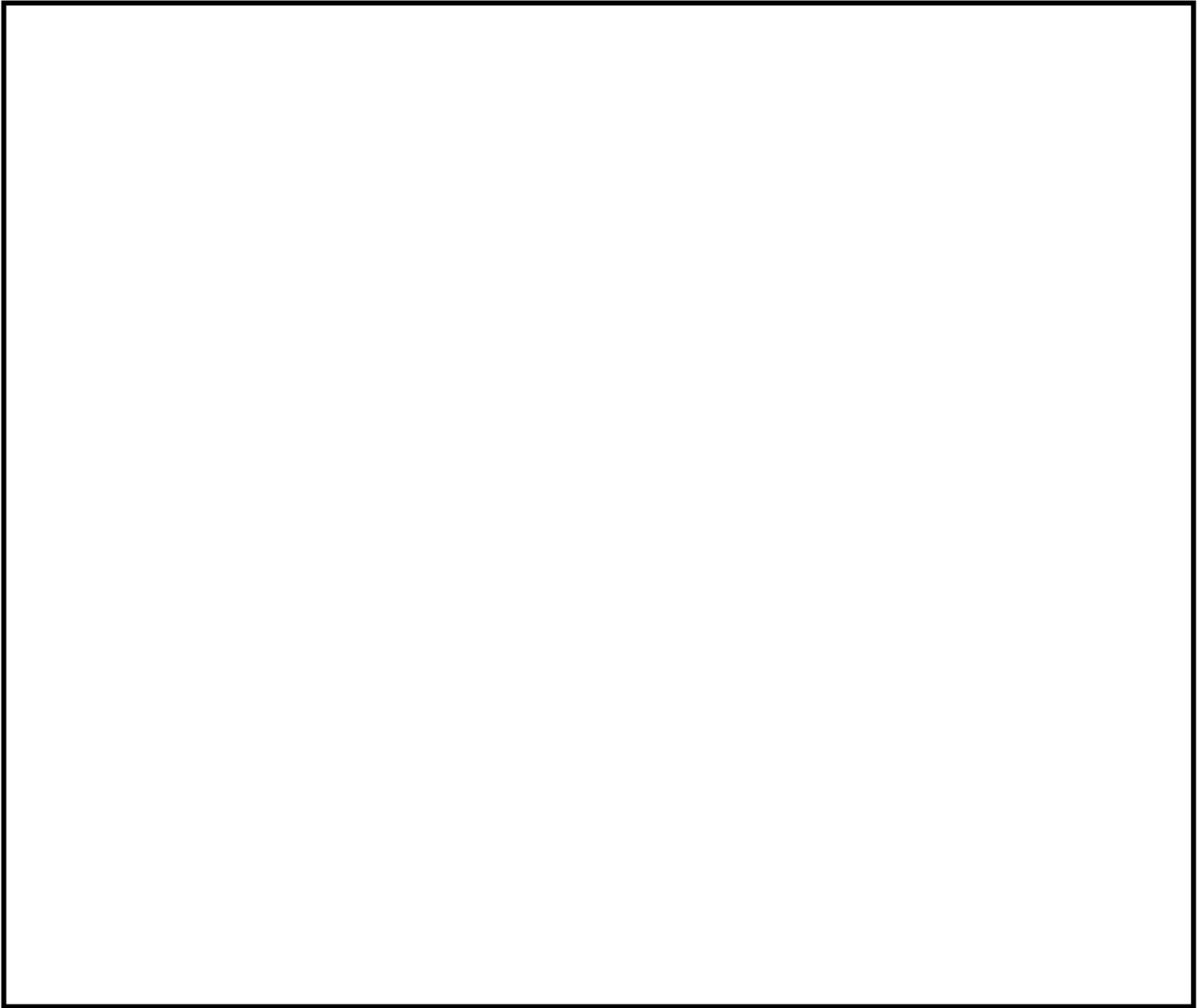
凡例 ● : 空氣環境測定箇所



図一別紙 3-10 空氣環境測定箇所 (10/10)

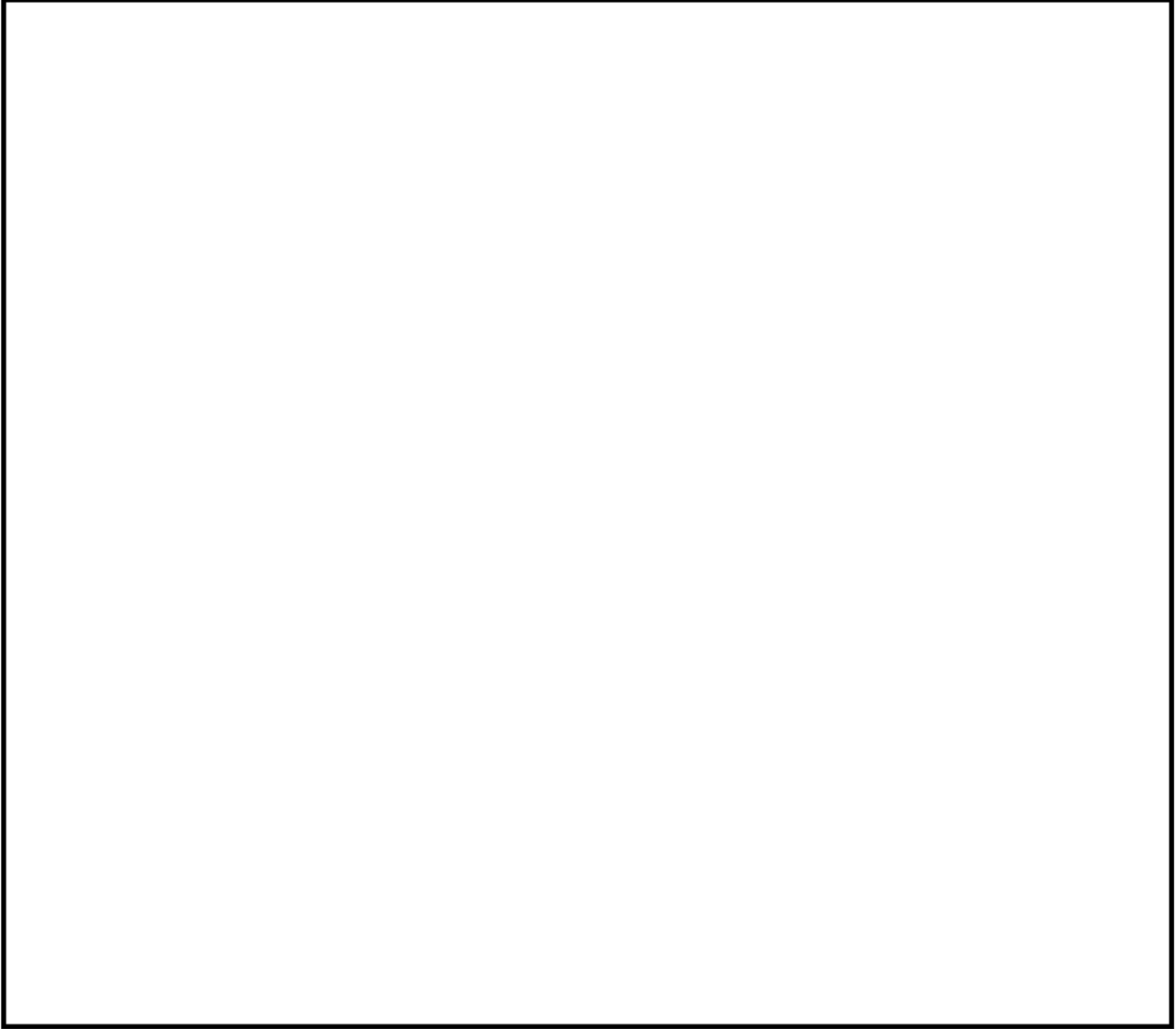
別紙 4 中性化における非破壊試験実施位置

凡例 ▼● : 非破壊試験実施位置



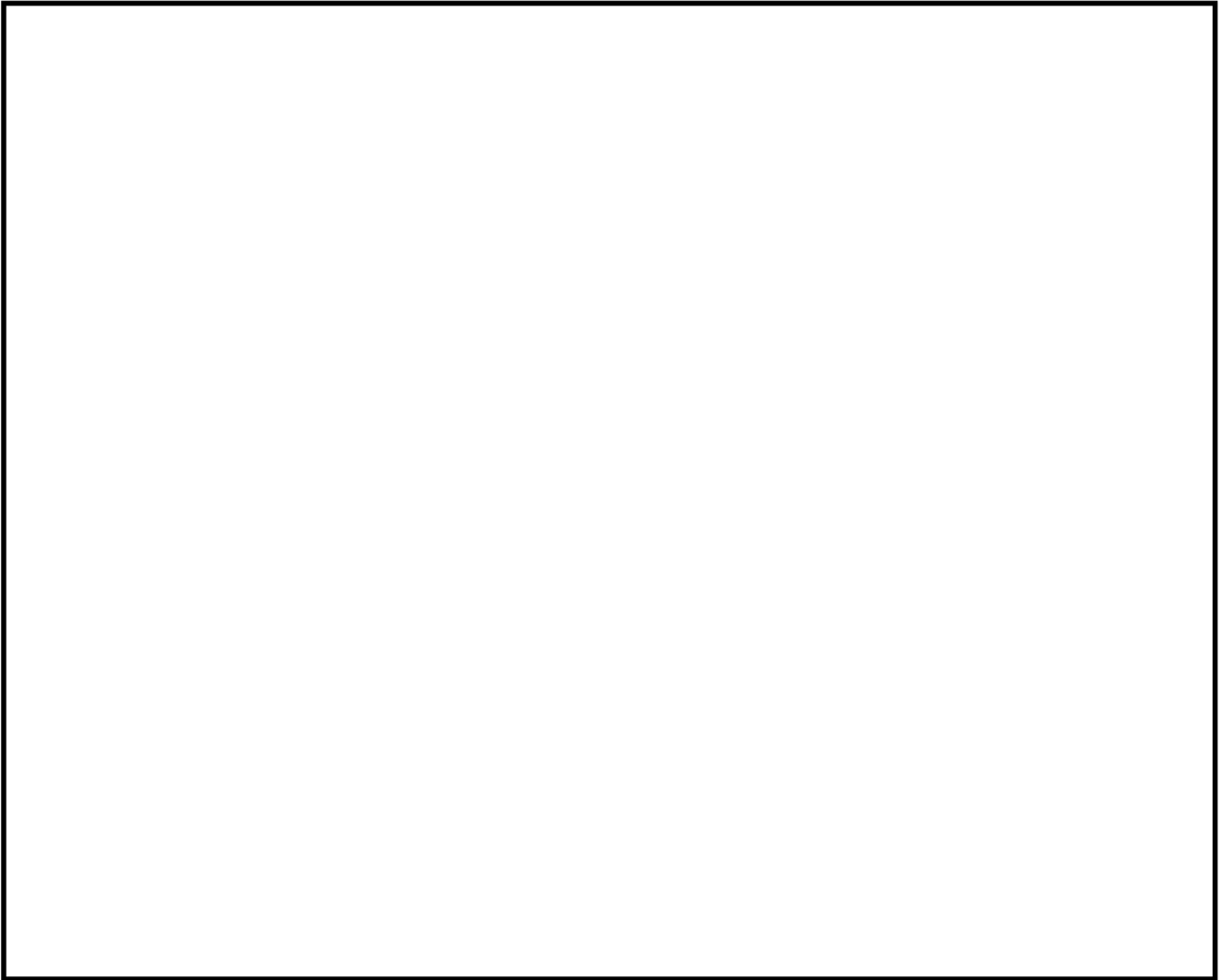
図－別紙 4－1 東海第二 非破壊試験実施位置（中性化）  
（原子炉建屋 EL-4.0m, タービン建屋 EL-1.6m）

凡例 ▼ : 非破壊試験実施位置



図一別紙 4-2 東海第二 非破壊試験実施位置 (中性化)  
(原子炉建屋 EL+2.0m)

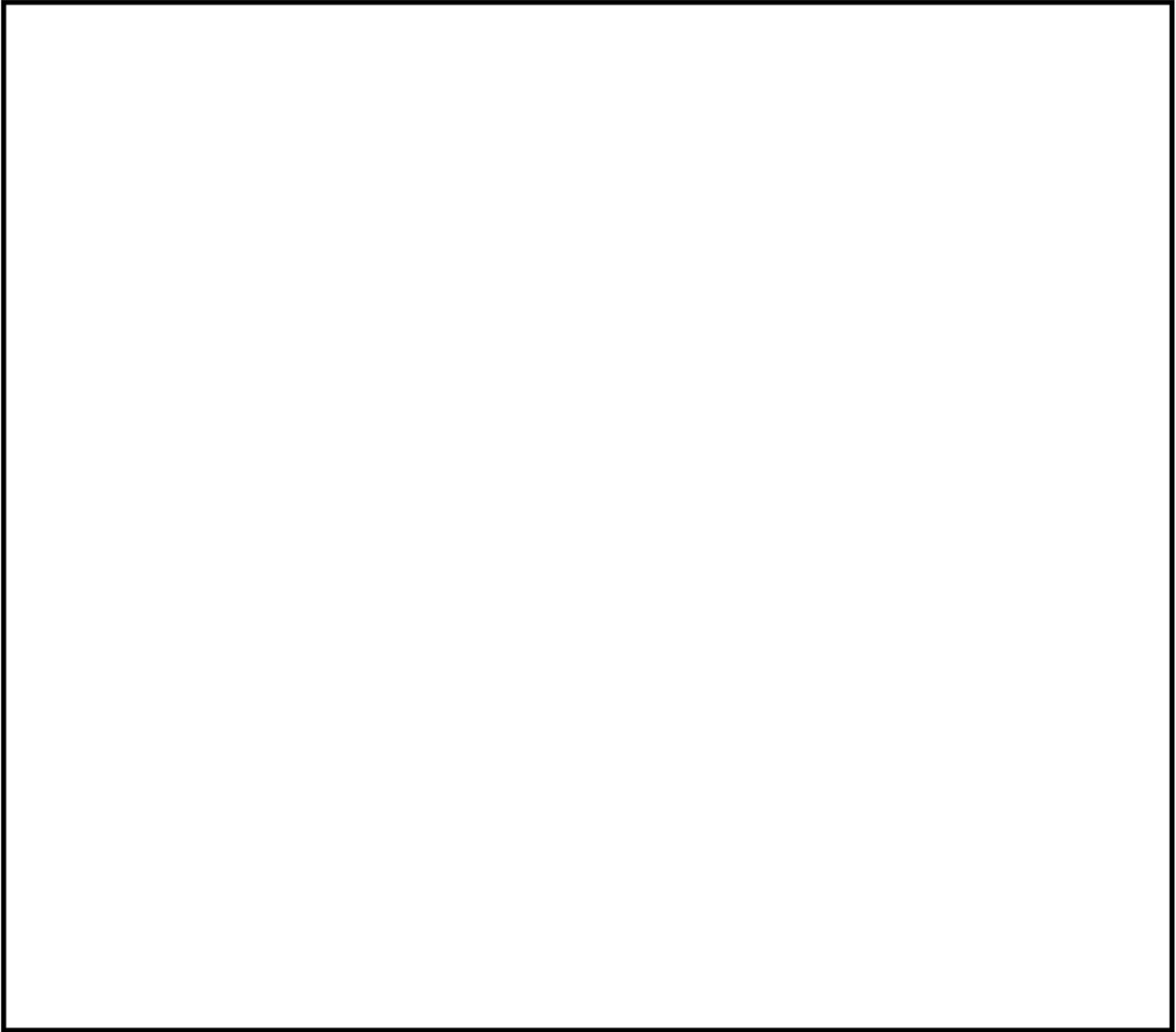
凡例 ▼ : 非破壊試験実施位置



図一別紙 4-3 東海第二 非破壊試験実施位置 (中性化)  
(原子炉建屋 EL+38.8m)

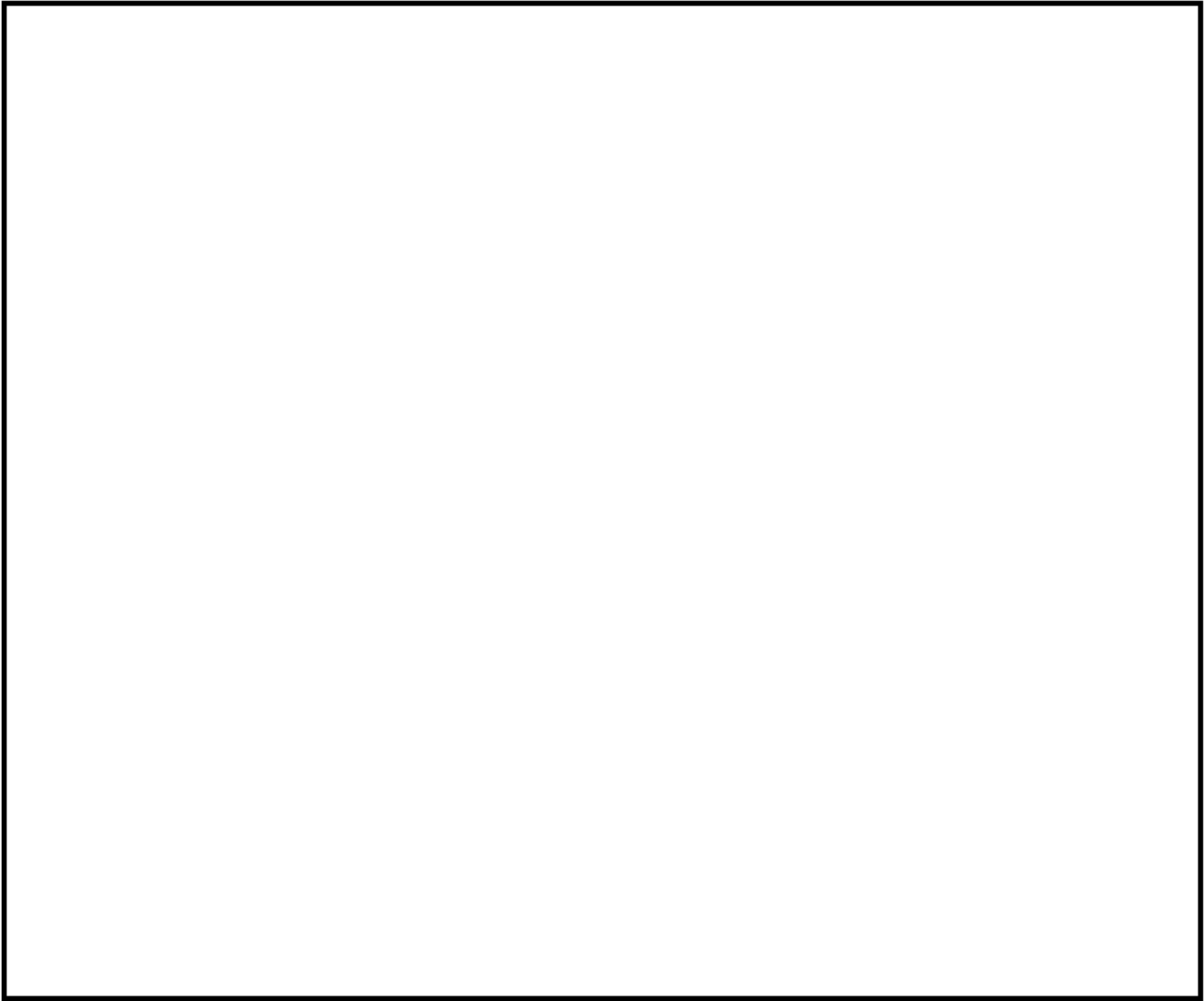


凡例 ▼ : 非破壊試験実施位置



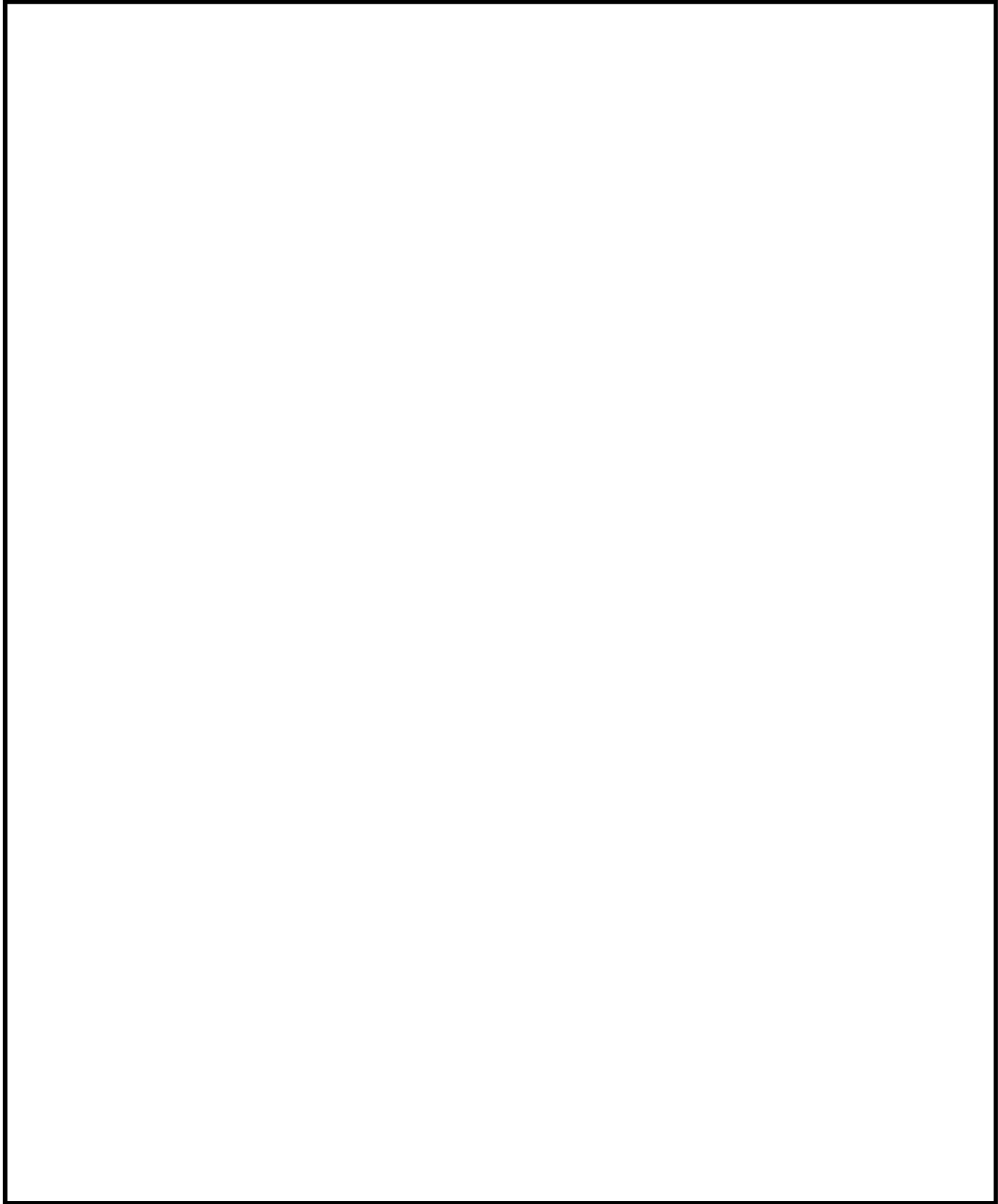
図一別紙 4-4 東海第二 非破壊試験実施位置 (中性化)  
(取水槽)

凡例 ▼ : 非破壊試験実施位置



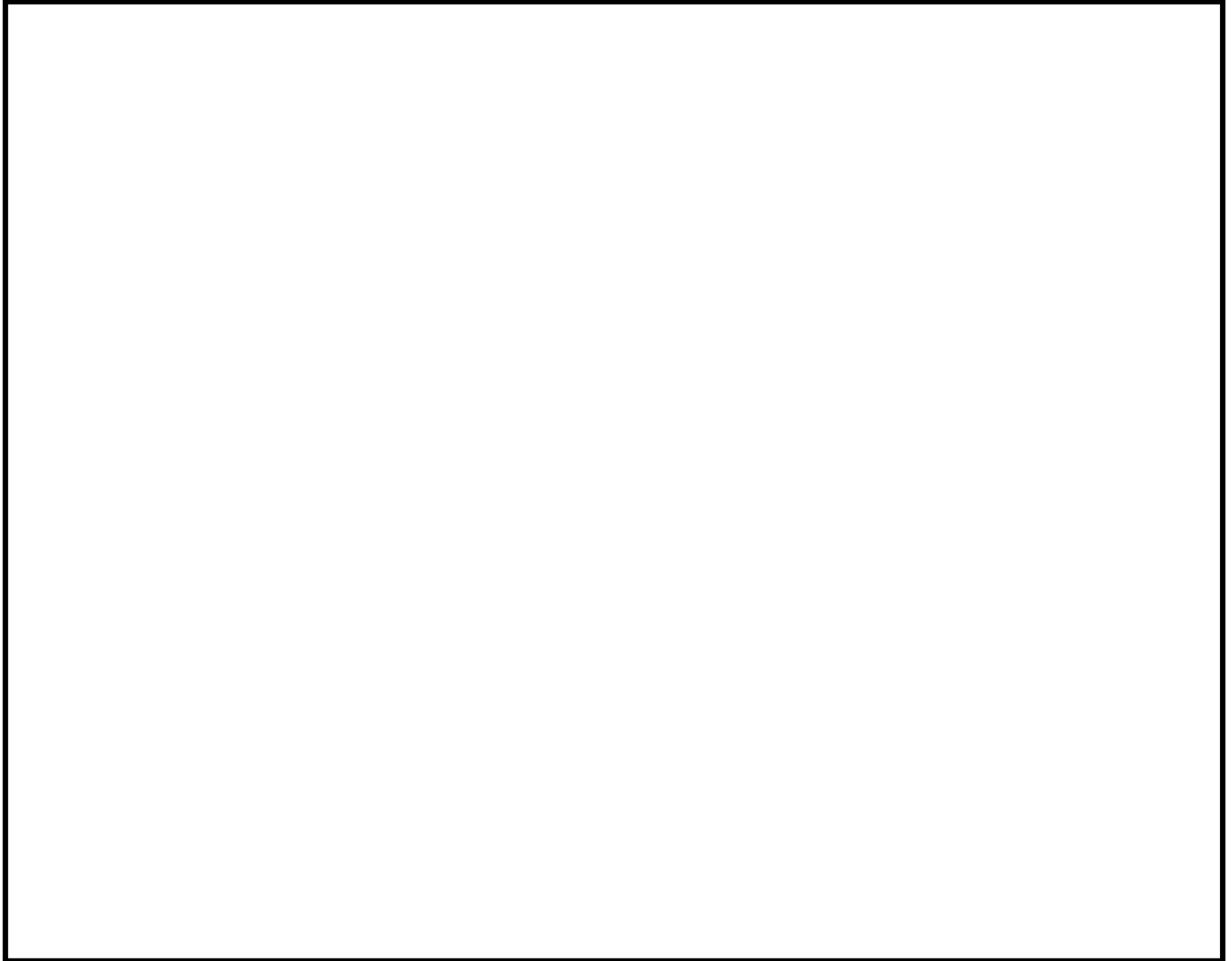
図一別紙 4-5 東海第二 非破壊試験実施位置 (中性化)  
(取水槽)

凡例 ▼ : 非破壊試験実施位置



図一別紙 4-6 東海第二 非破壊試験実施位置 (中性化)  
(排気筒基礎)

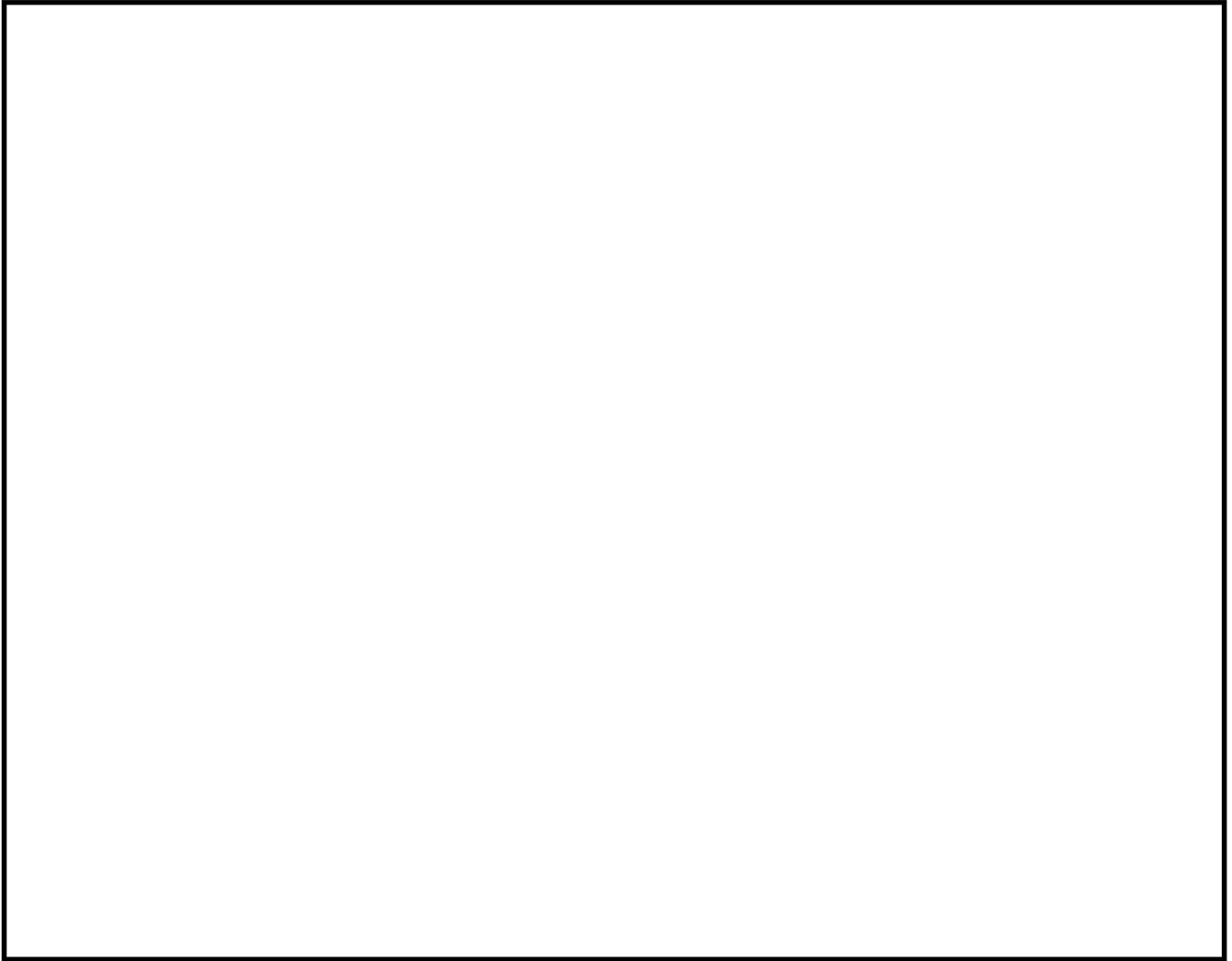
凡例 ▼ : 非破壊試験実施位置



図一別紙 4-7 東海第二 非破壊試験実施位置 (中性化)  
(使用済燃料乾式貯蔵建屋)

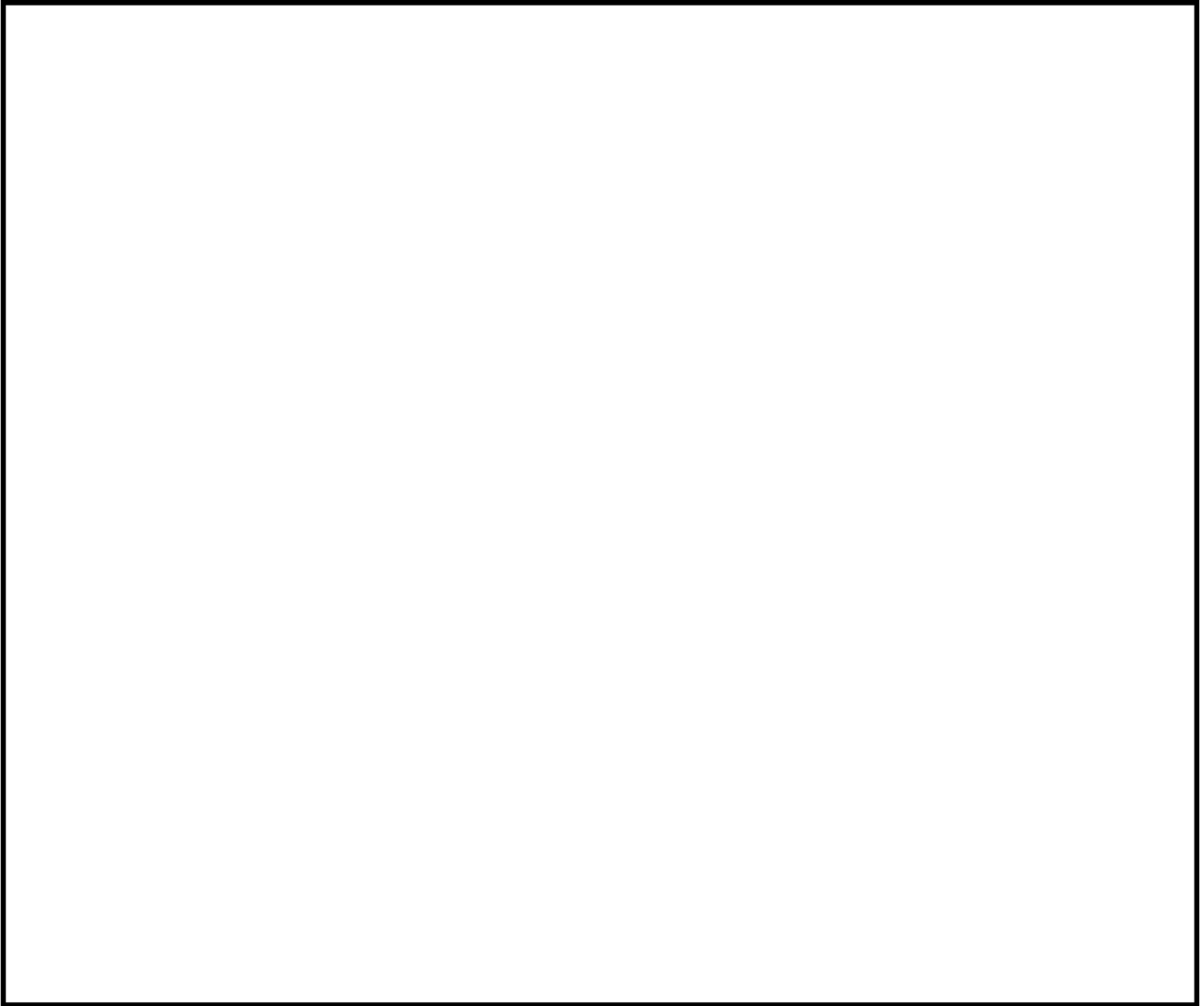
別紙 5 塩分量測定位置

凡例 ▼ : 飛来塩分捕集器



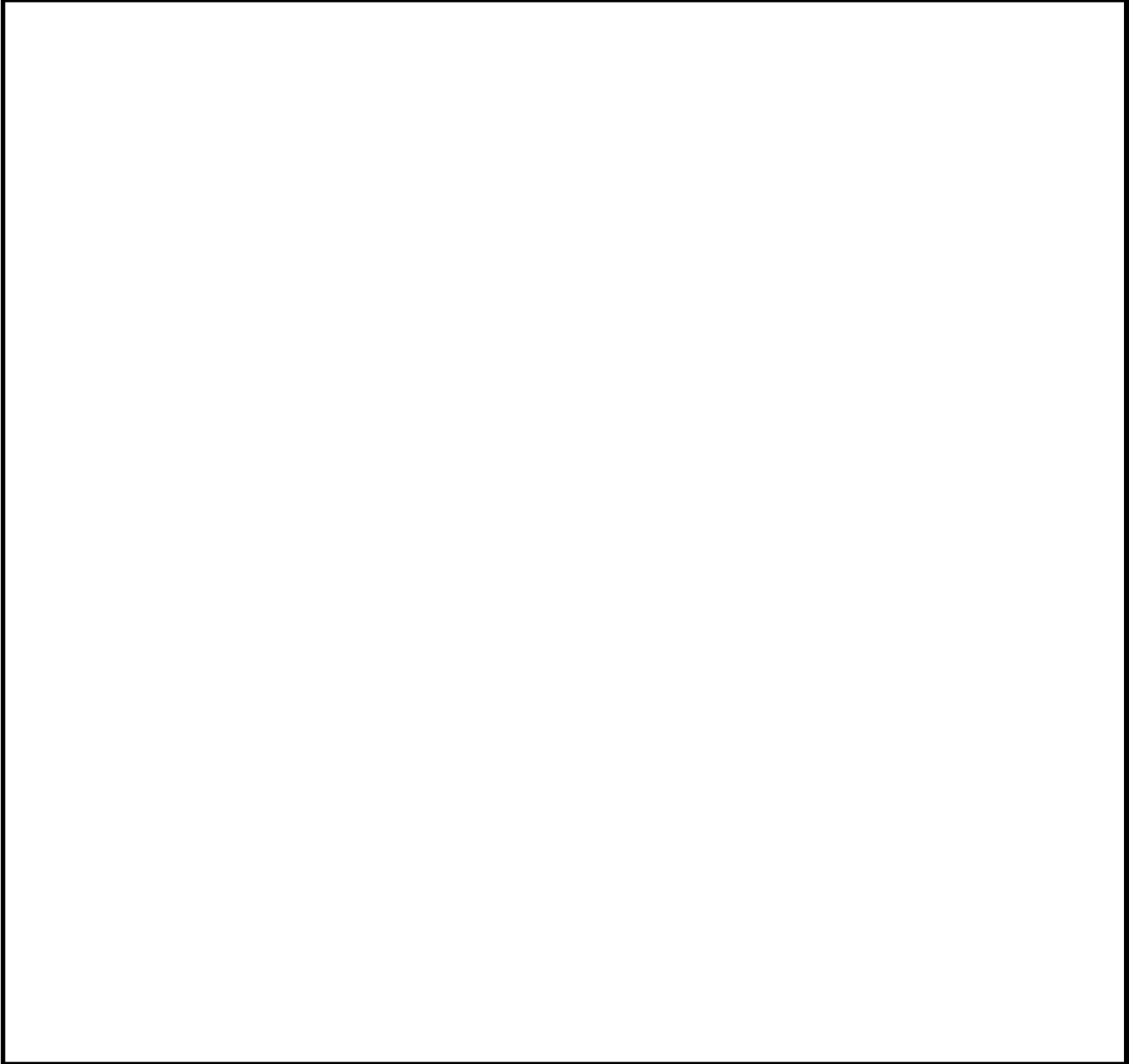
図一別紙 5-1 東海第二 塩分量測定位置  
(原子炉建屋 EL+8.2m)

凡例 ▼ : 飛来塩分捕集器



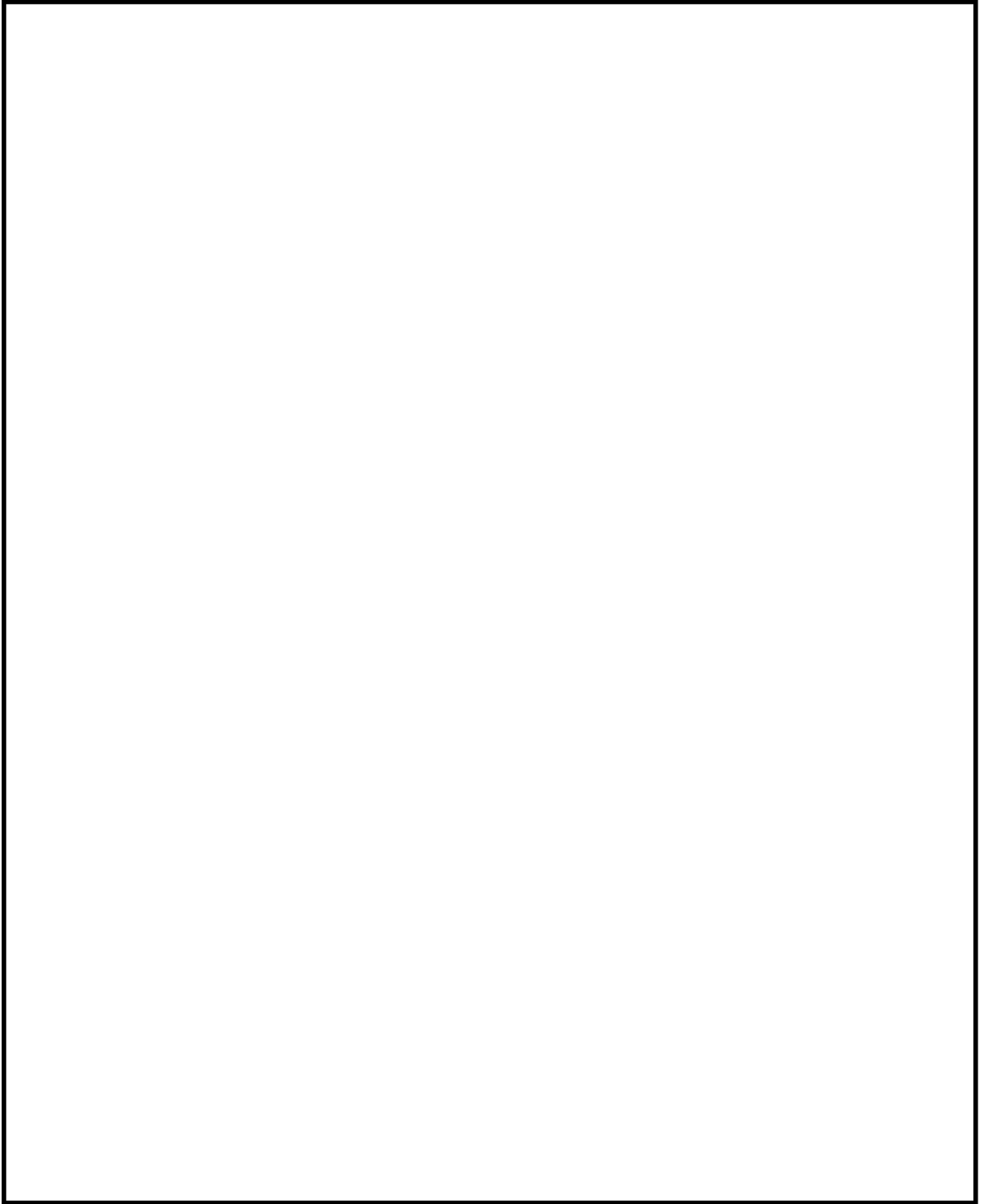
図一別紙 5-2 東海第二 塩分量測定位置  
(原子炉建屋 EL+20.3m)

凡例 ▼ : ポータブル表面塩分計



図一別紙 5-3 東海第二 塩分量測定位置  
(取水槽)

凡例 ▼ : ポータブル表面塩分計

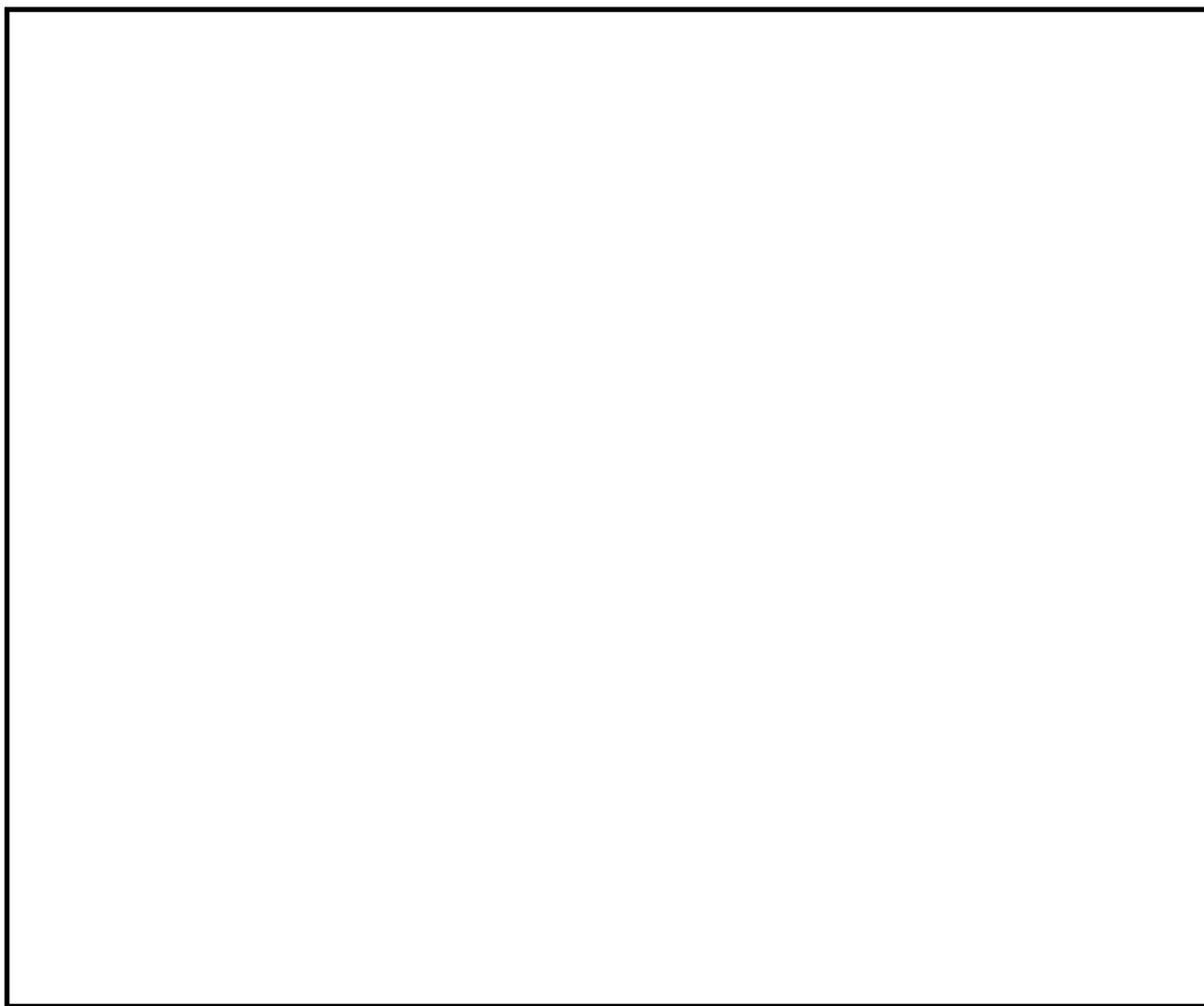


図一別紙 5-4 東海第二 塩分量測定位置  
(排気筒基礎)



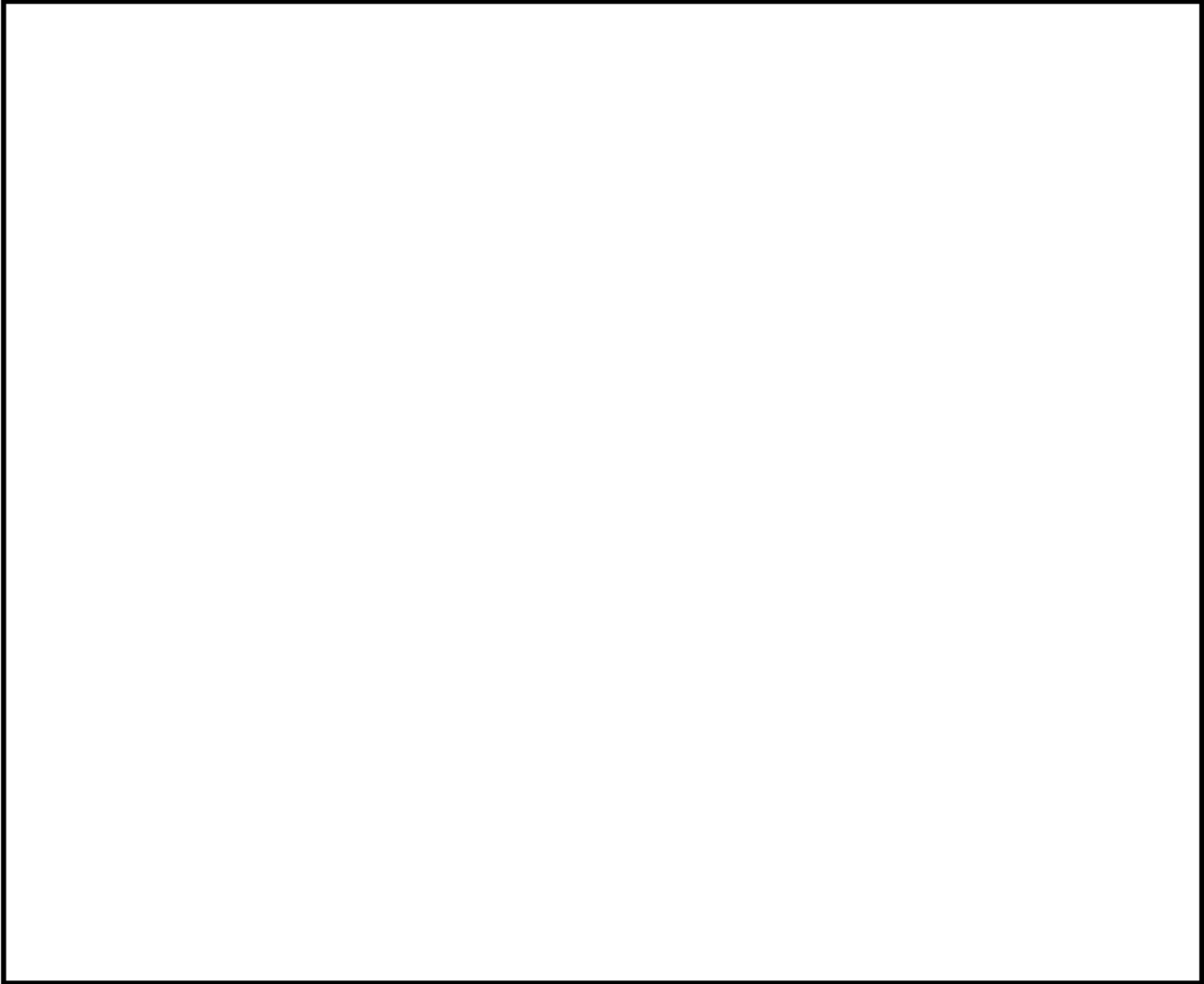
## 別紙 6 特別点検実施位置

- 凡例
- ▼● : 強度コアサンプル採取位置
  - ▼● : 中性化深さ測定位置
  - ▼● : アリカリ骨材反応コアサンプル採取位置



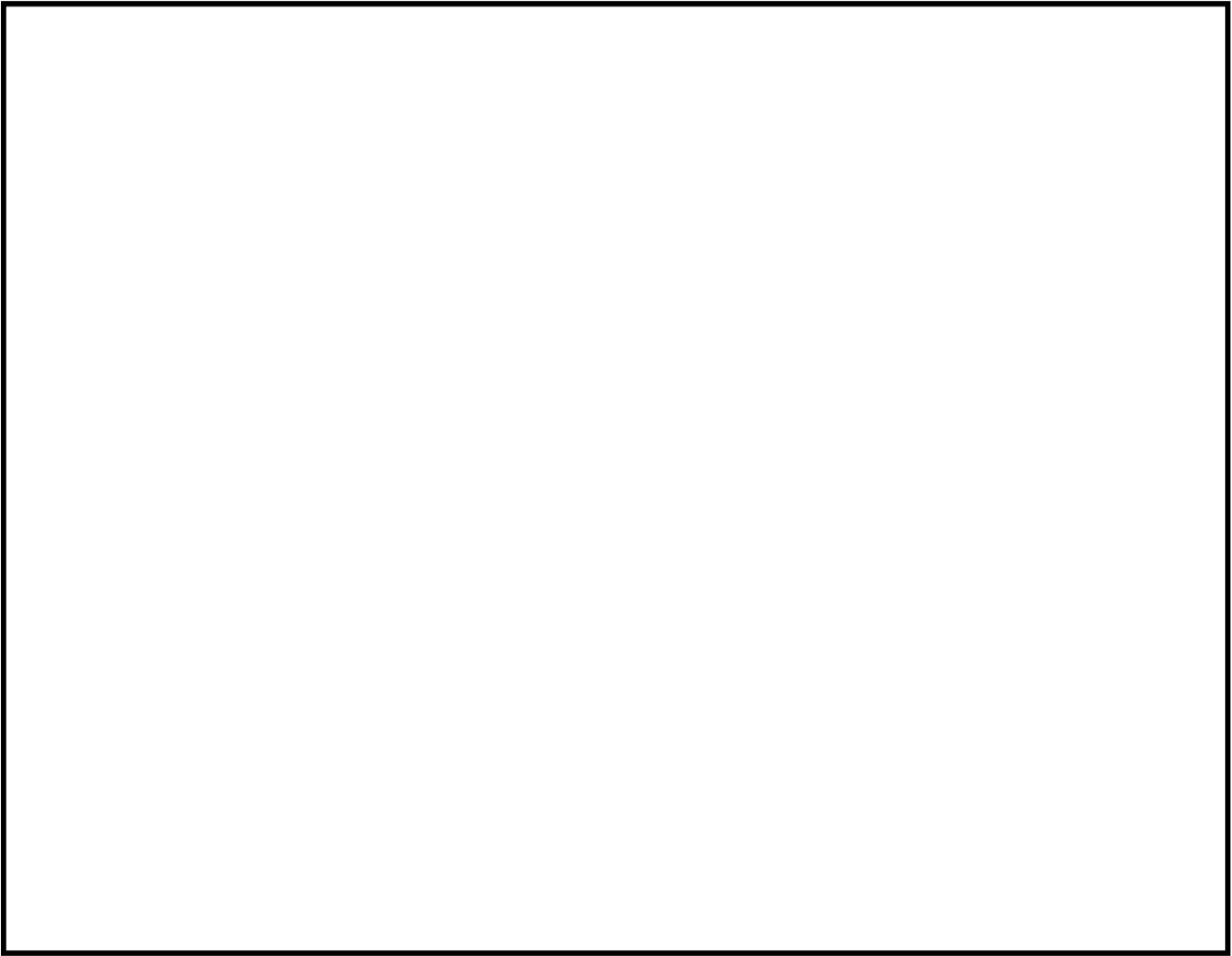
図一別紙 6-1 東海第二 特別点検実施位置  
(原子炉建屋 EL-4.0m, タービン建屋 EL-1.6m)

凡例 ▼ : 強度コアサンプル採取位置  
▼ : 中性化深さ測定位置



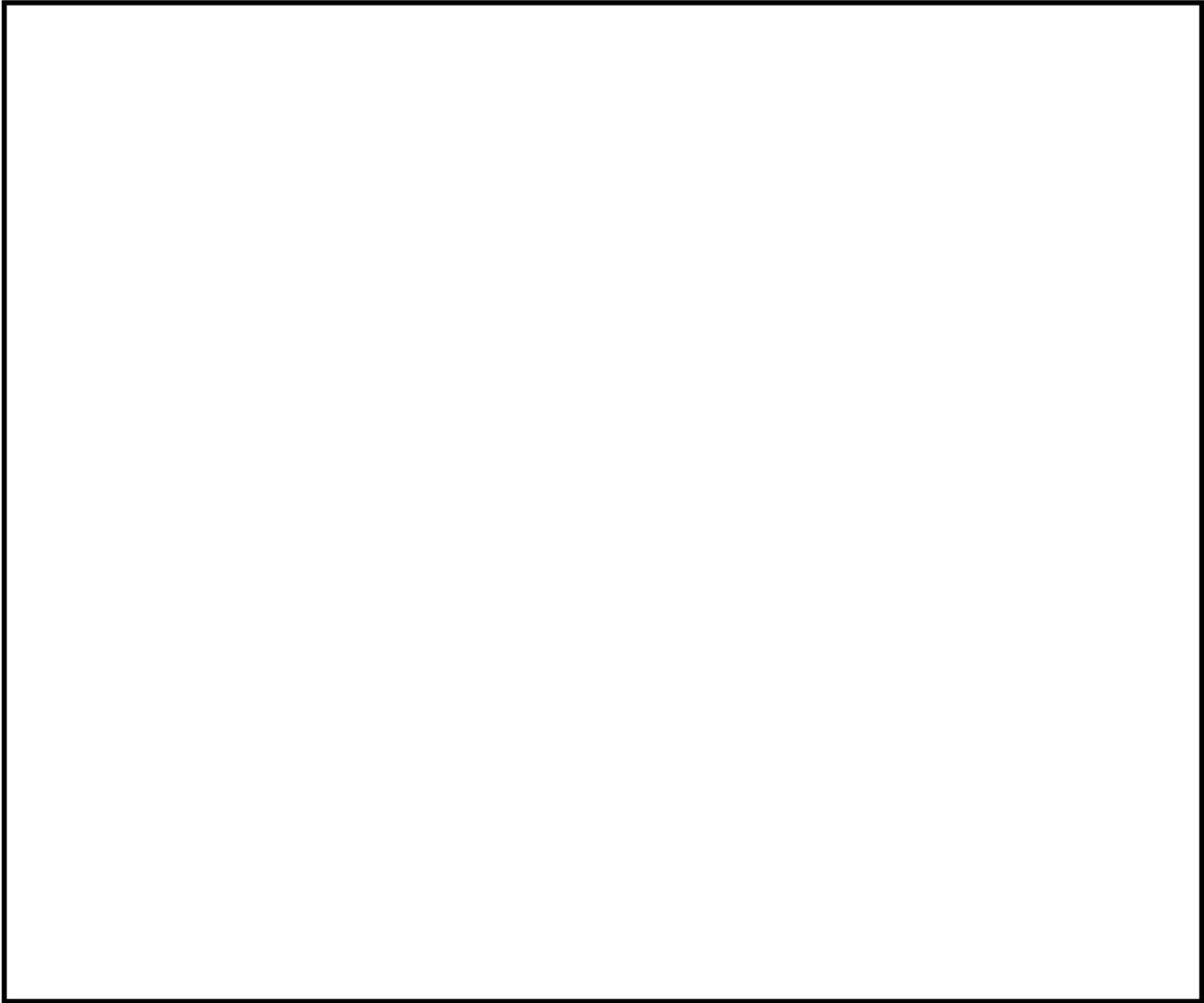
図一別紙 6-2 東海第二 特別点検実施位置  
(原子炉建屋 EL+2.0m)

凡例 ▼ : 強度コアサンプル採取位置  
▼ : アリカリ骨材反応コアサンプル採取位置



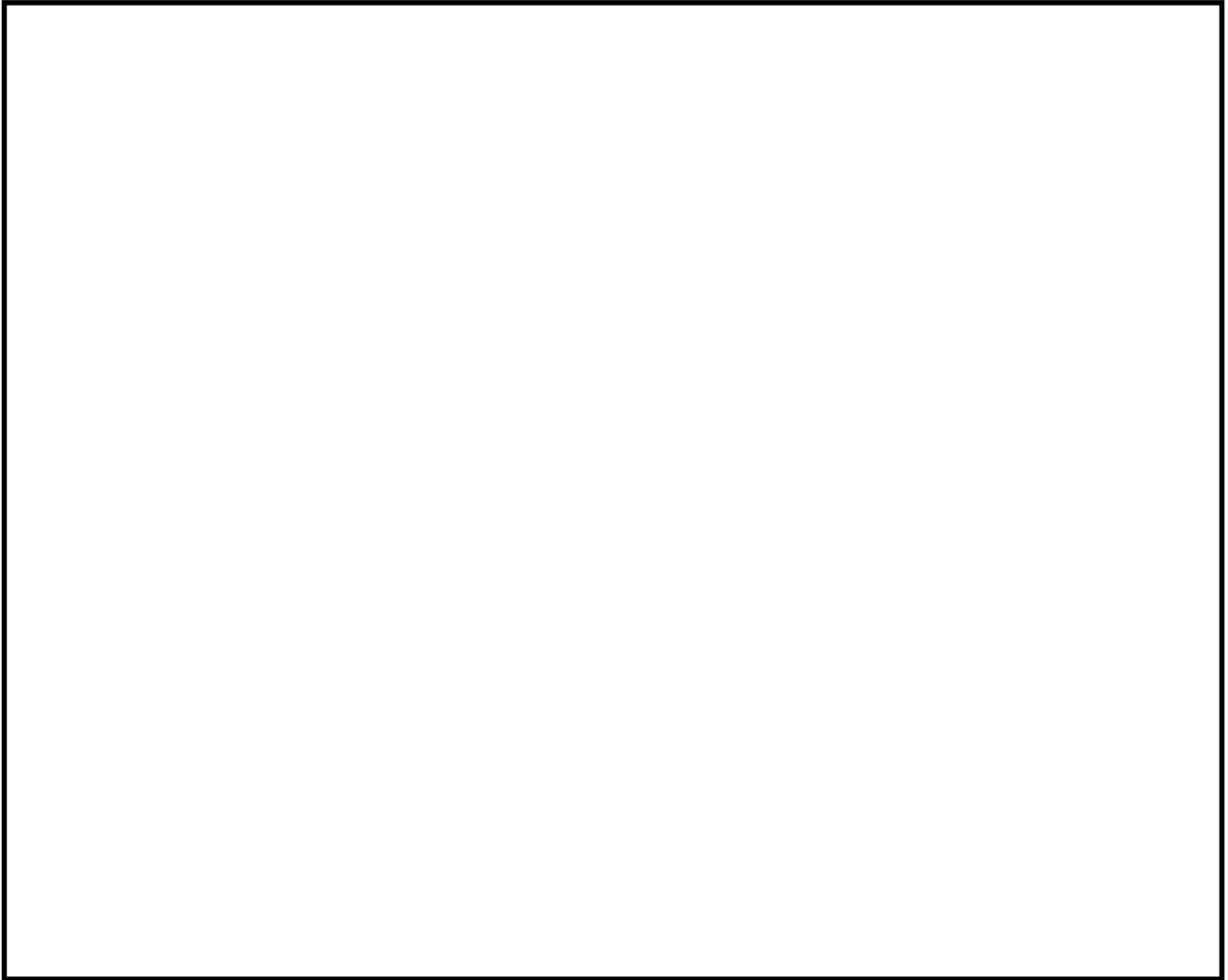
図一別紙 6-3 東海第二 特別点検実施位置  
(原子炉建屋 EL+8.2m, タービン建屋 EL+8.2m)

- 凡例 ●：強度コアサンプル採取位置  
▼：遮蔽能力コアサンプル採取位置  
●：中性化深さ測定位置  
▼●：アリカリ骨材反応コアサンプル採取位置



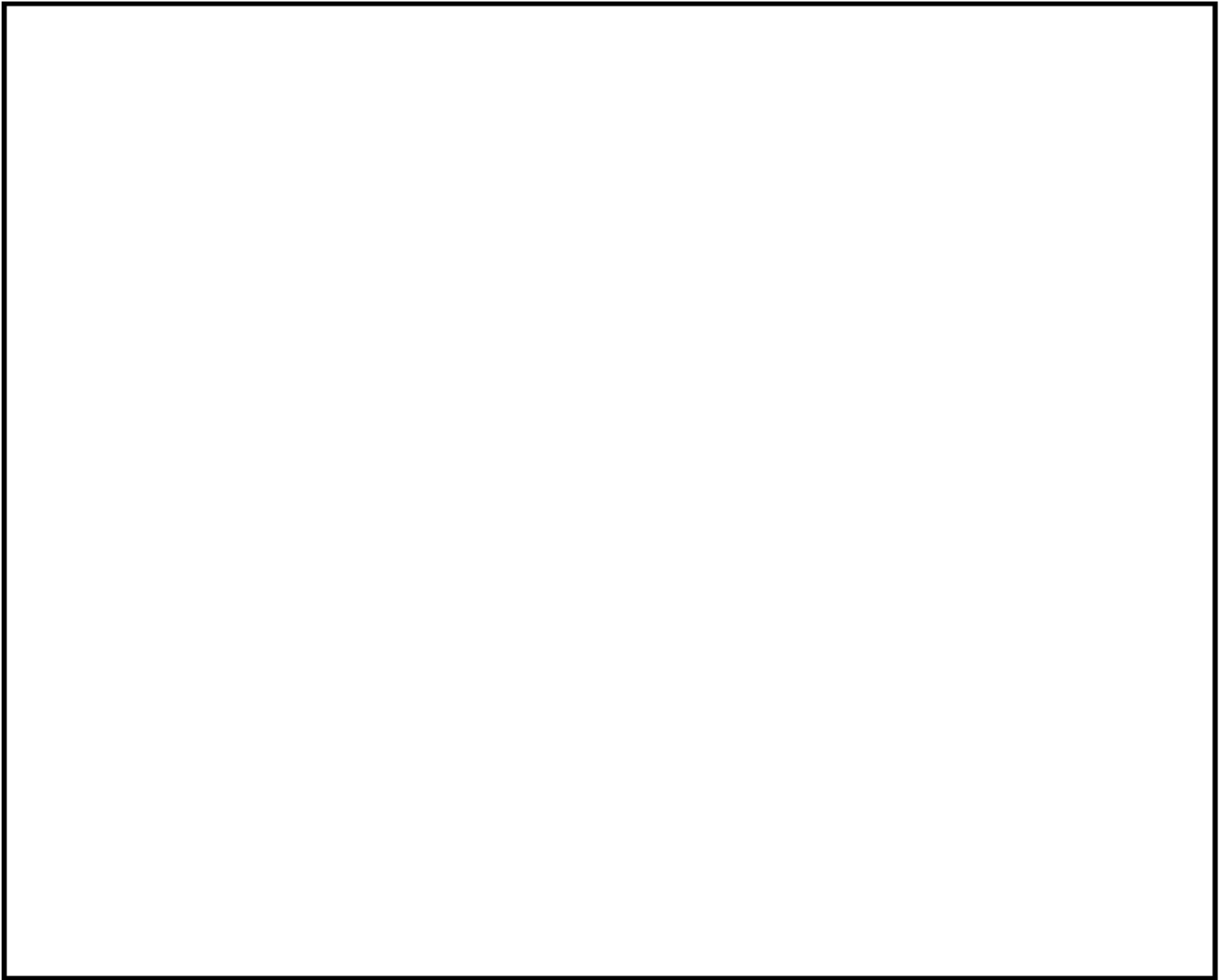
図一別紙 6-4 東海第二 特別点検実施位置  
(原子炉建屋 EL+14.0m)

- 凡例
- ▼ : 強度コアサンプル採取位置
  - ▼ : 遮蔽能力コアサンプル採取位置
  - ▼ : 中性化深さ測定位置
  - ▼ : 塩分浸透コアサンプル採取位置
  - ▼ : アリカリ骨材反応コアサンプル採取位置



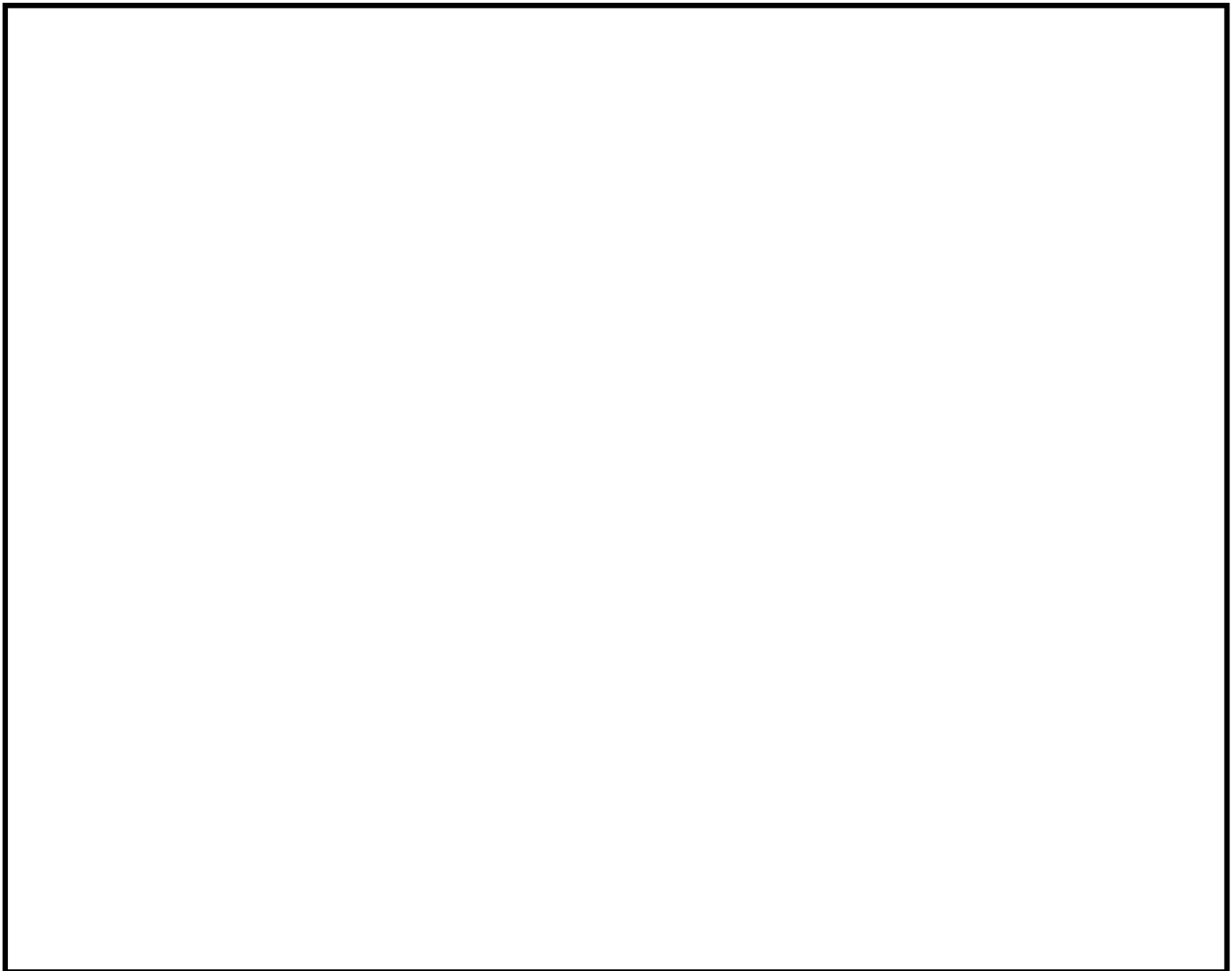
図一別紙 6-5 東海第二 特別点検実施位置  
(原子炉建屋 EL+38.8m)

- 凡例
- ▼ : 強度コアサンプル採取位置
  - ▼ : 塩分浸透コアサンプル採取位置
  - ▼ : アリカリ骨材反応コアサンプル採取位置



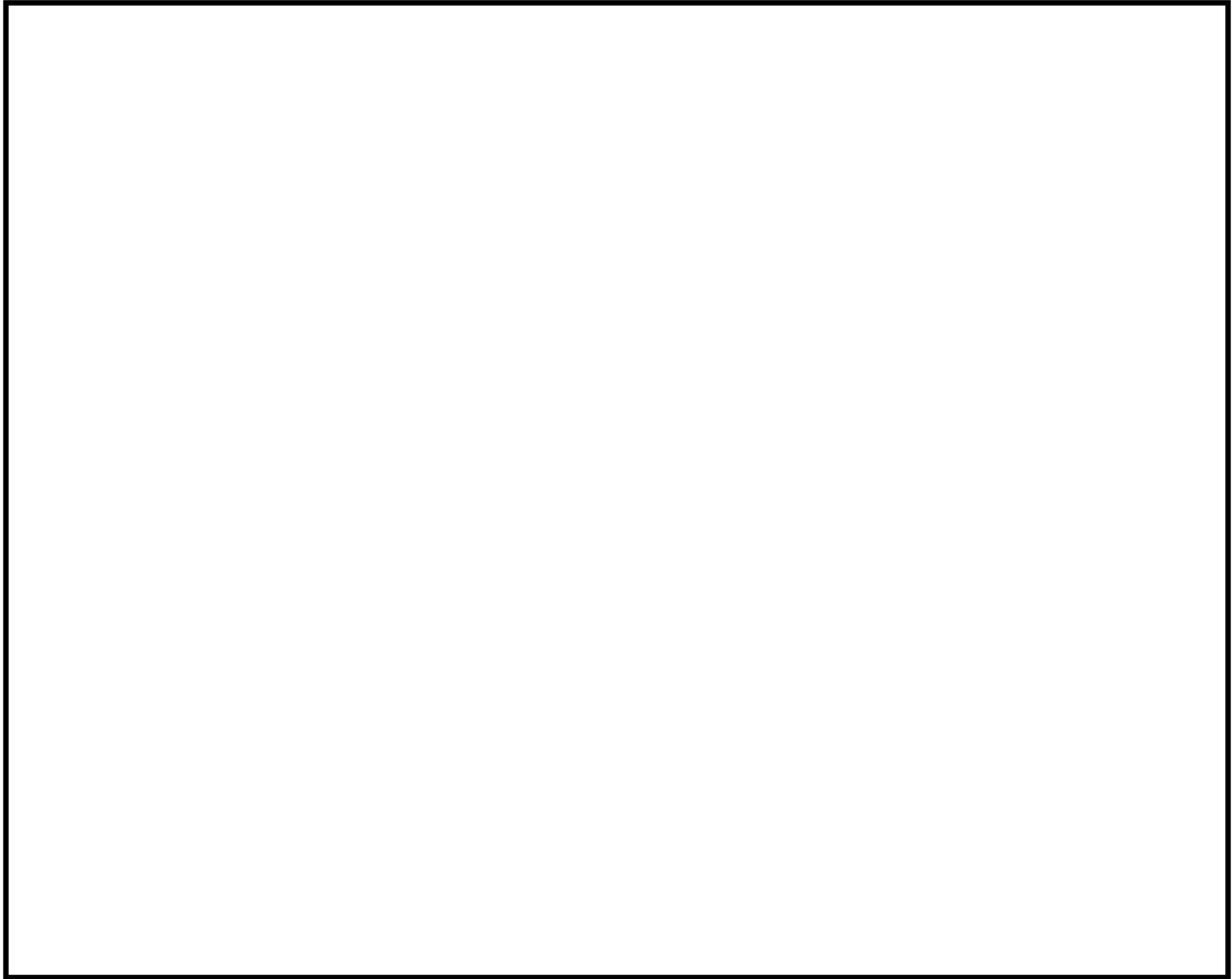
図一別紙 6-6 東海第二 特別点検実施位置  
(原子炉建屋 EL+46.5m)

- 凡例
- ▼ : 強度コアサンプル採取位置
  - ▼ : 中性化深さ測定位置
  - ▼ : 塩分浸透コアサンプル採取位置
  - ▼ : アリカリ骨材反応コアサンプル採取位置



図一別紙 6-7 東海第二 特別点検実施位置  
(取水槽)

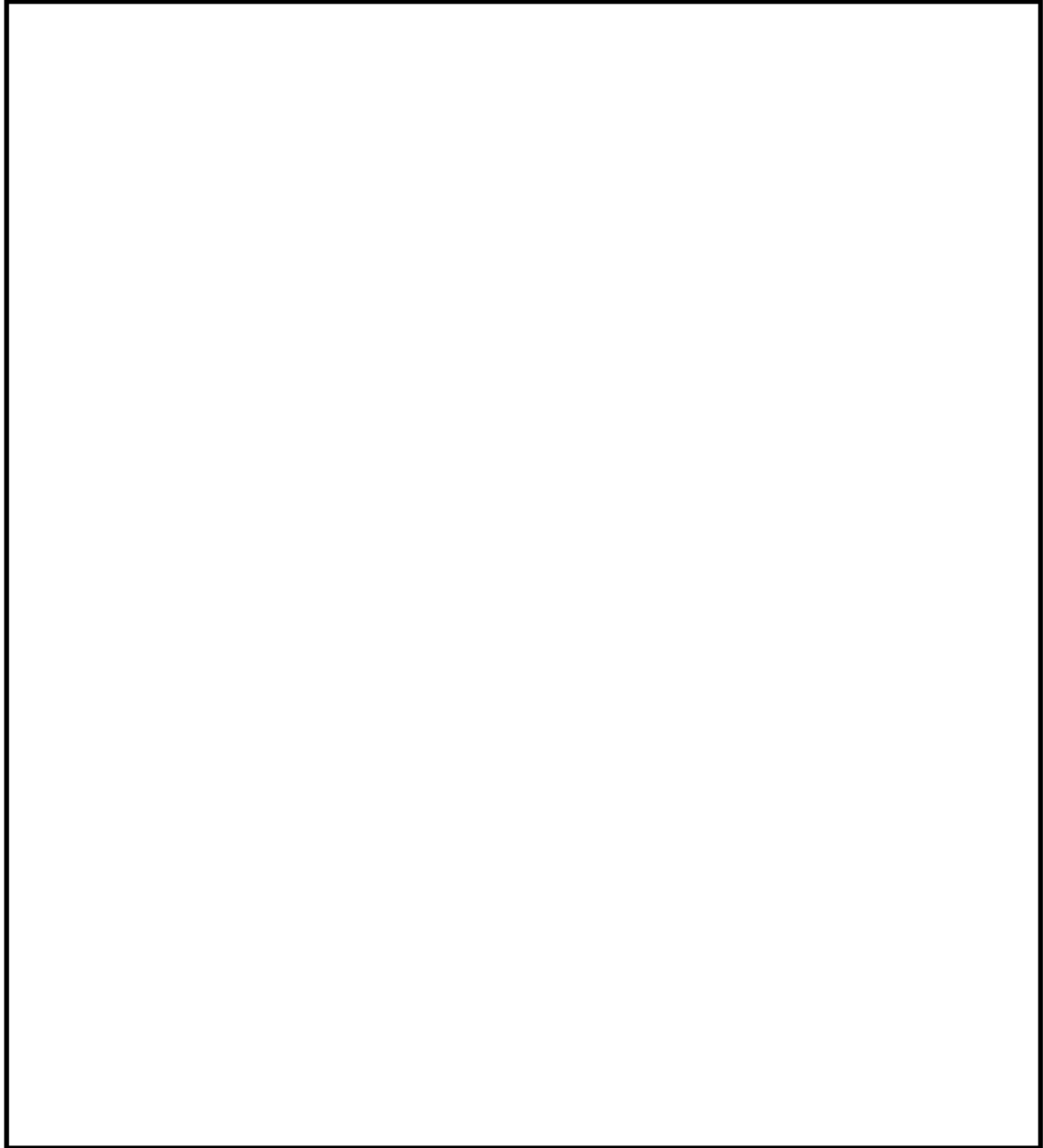
- 凡例
- ▼ : 強度コアサンプル採取位置
  - ▼ : 中性化深さ測定位置
  - ▼ : 塩分浸透コアサンプル採取位置
  - ▼ : アリカリ骨材反応コアサンプル採取位置



図一別紙 6-8 東海第二 特別点検実施位置  
(取水槽)

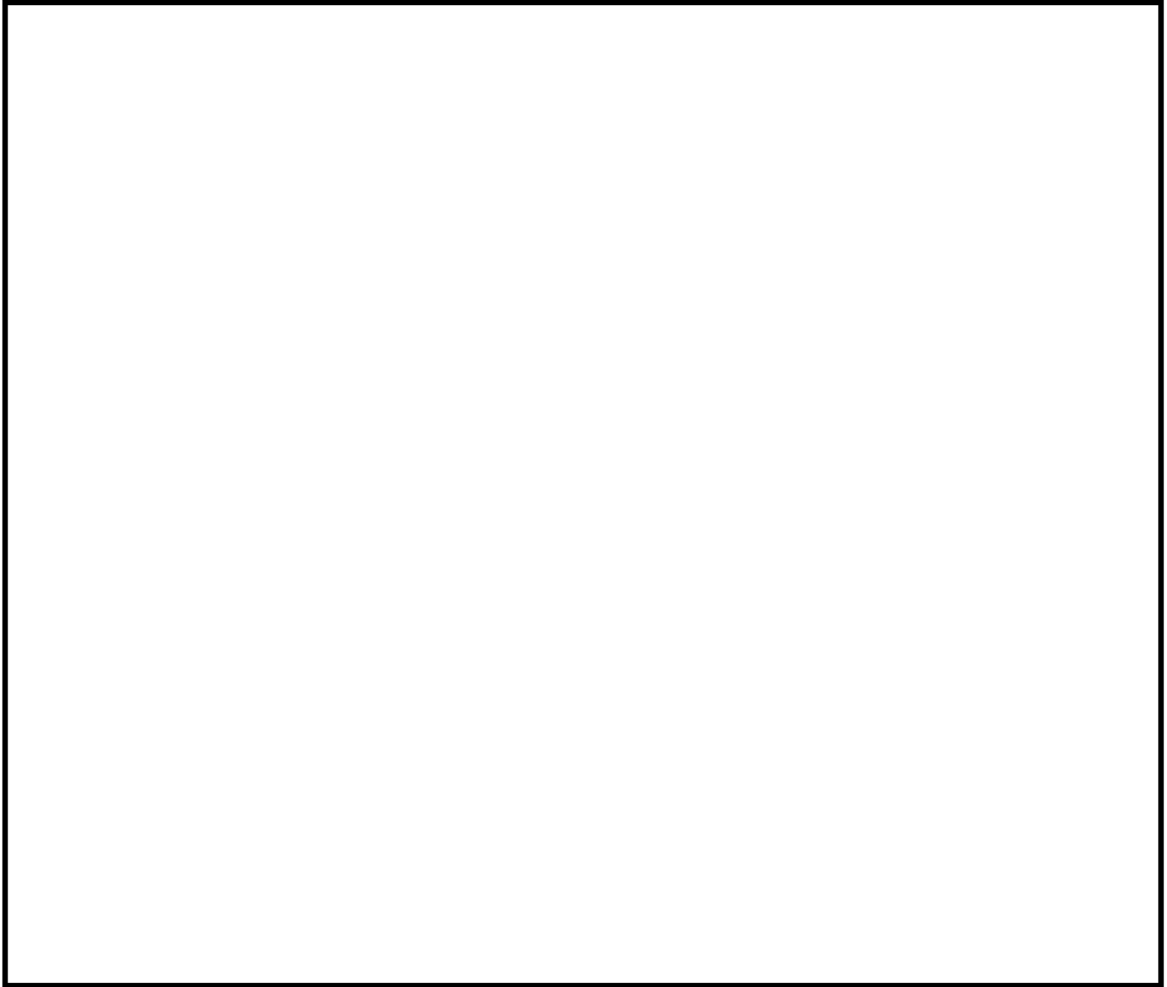


- 凡例
- ▼ : 強度コアサンプル採取位置
  - ▼ : 中性化深さ測定位置
  - ▼ : 塩分浸透コアサンプル採取位置
  - ▼ : アリカリ骨材反応コアサンプル採取位置



図一別紙 6-9 東海第二 特別点検実施位置  
(排気筒基礎)

- 凡例
- ▼ : 強度コアサンプル採取位置
  - ▼ : 遮蔽能力コアサンプル採取位置
  - ▼ : 中性化深さ測定位置
  - ▼ : アリカリ骨材反応コアサンプル採取位置



図一別紙 6-10 東海第二 特別点検実施位置  
(使用済燃料乾式貯蔵建屋)

## 別紙7 塩分量測定のおえ方

### (1) 飛来塩分捕集器

#### ①測定箇所の範囲

測定箇所について、海側面でかつアクセス性を有する箇所ということで、EL+8.2m～64.08mの屋外階段等でアクセスできる範囲を選定した。

#### ②測定箇所数

一般に、飛来塩分の測定はkm単位で行うことが多いが、原子炉建屋の外壁の高さが約60m程度であることを踏まえ、より保守的な評価となる観点で、その範囲が高さ方向におおむね均等になるような4箇所について、測定を行うこととした。

#### ③測定期間

測定期間は、季節変動を踏まえて平成28年2月から平成29年2月までの約1年間とした。

### (2) ポータブル表面塩分計

#### ①測定箇所の範囲

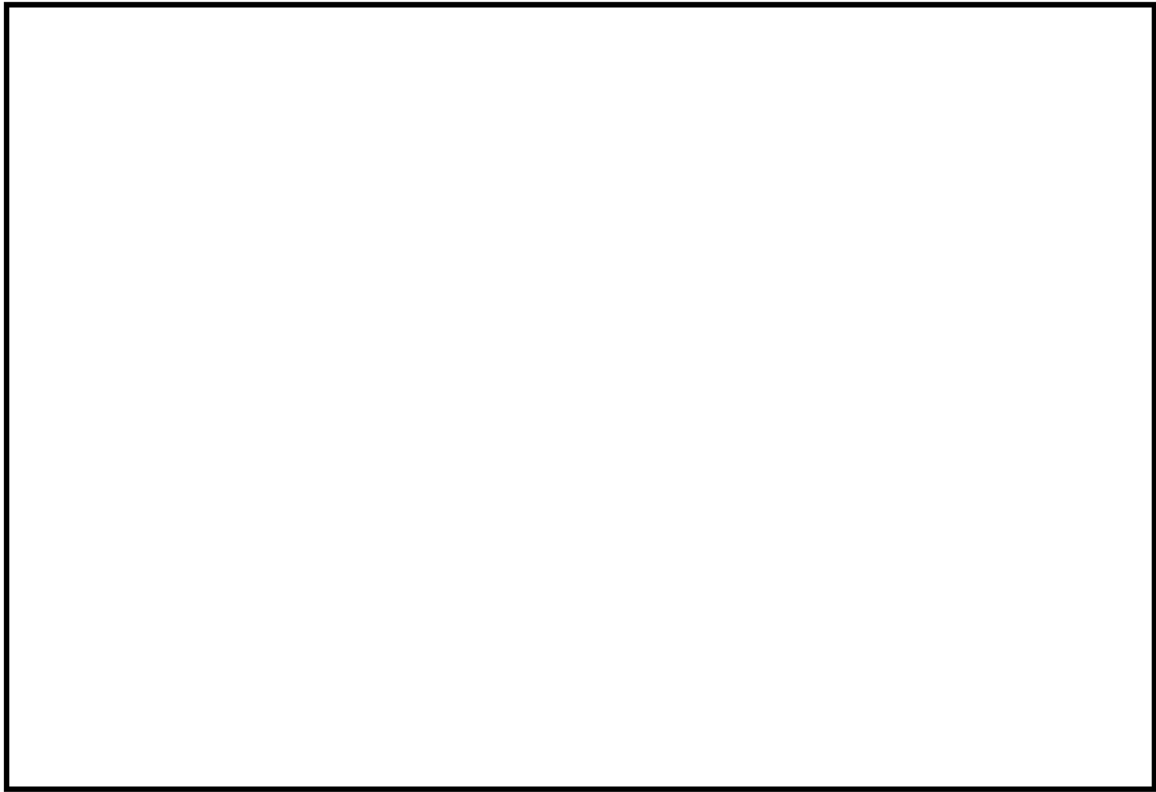
測定箇所の範囲は、取水槽については、循環水ポンプクレーン基礎海側面を、排気筒については、地上に出ている基礎部分を選定した。

#### ②測定箇所数

一般に、飛来塩分の測定はkm単位で行うことが多いが、循環水ポンプクレーン基礎の長さが約80m程度であることを踏まえ、より保守的な評価となる観点で、その範囲がおおむね均等になるような7箇所について、また排気筒基礎は4箇所について、測定を行うこととした。

#### ③測定回数

測定回数は、季節変動を踏まえて平成28年5月、8月、11月、平成29年2月の4回とした。



図－別紙 8－1 東海第二 海岸線からの位置関係